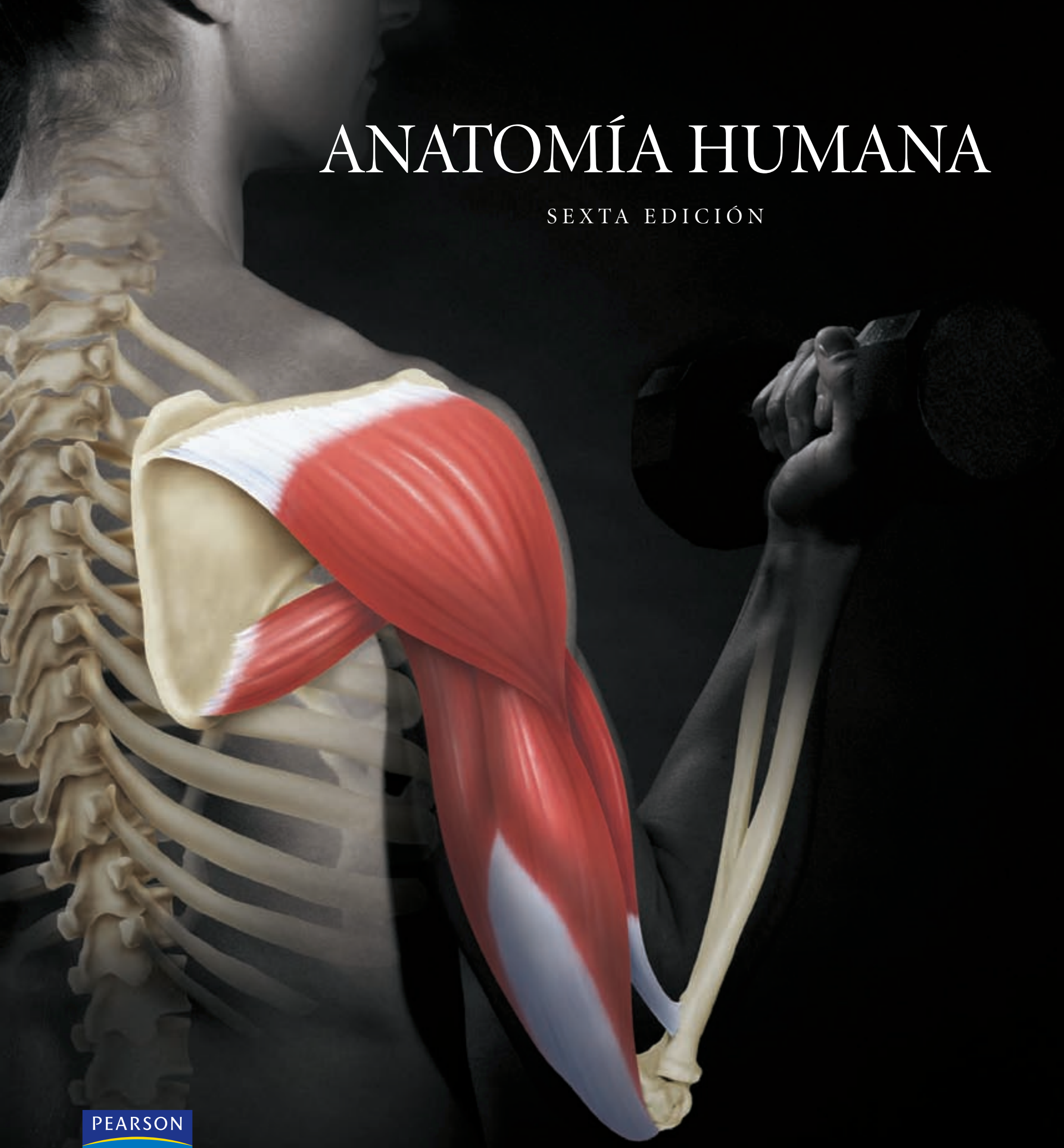
ANATOMÍA HUMANA

SEXTA EDICIÓN



PEARSON
Addison Wesley

MARTINI · TIMMONS · TALLITSCH

Anatomía humana

SEXTA EDICIÓN

Frederic H. Martini, Ph.D.
University of Hawaii

Michael J. Timmons, M.S.
Moraine Valley Community College

Robert B. Tallitsch, Ph.D.
Augustana College

con

William C. Ober, M.D.
Coordinador de arte e ilustración

Claire W. Garrison, R.N.
Ilustrador

Kathleen Welch, M.D.
Consultor clínico

Ralph T. Hutchings
Fotógrafo biomédico

Traducción y producción editorial
GEA CONSULTORÍA EDITORIAL, S. L.

booksmedicos.org

Madrid ● México ● Santa Fé de Bogotá ● Buenos Aires ● Caracas ● Lima
Montevideo ● San Juan ● San José ● Santiago ● São Paulo ● White Plains ●

ANATOMÍAHU MANA
Frederic H. Martini, Michael J. Timmons, Robert B. Tallitsch

PEARSON EDUCACIÓN, S. A., Madrid, 2009
ISBN: 978-84-7829-099-4

Materia: Enfermería, 614

Formato: 266,7 × 304,8 mm Páginas: 904

Todos los derechos reservados.
Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sgts. Código penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos: www.cedro.org), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

DERECHOS RESERVADOS
©2009, PEARSON EDUCACIÓN S. A.
Ribera del Loira, 28
28042 Madrid (España)
www.pearsoneducacion.com

ISBN: 978-84-7829-099-4
Depósito legal:

Authorized translation from the English language edition, entitled CLINICAL NURSING SKILLS: BASIC TO ADVANCED SKILLS, 7th Edition by SANDRA SMITH; DONNA DUELL; BARBARA MARTIN, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2008

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

SPANISH language edition published by PEARSON EDUCACION S.A., Copyright © 2009

Equipo editorial:
Editor: Miguel Martín-Romo
Técnico editorial: Marta Caicoya
Equipo de producción:
Director: José A. Clares
Técnico: Tini Cardoso
Diseño de cubierta: Equipo de diseño de Pearson Educación S.A.
Traducción y maquetación: GEA CONSULTORÍA EDITORIAL, S.L.
Impreso por:

IMPRESO EN ESPAÑA – *PRINTED IN SPAIN*
Este libro ha sido impreso con papel y tintas ecológicos

Nota sobre enlaces a páginas web ajenas: Este libro puede incluir enlaces a sitios web gestionados por terceros y ajenos a PEARSON EDUCACIÓN S.A. que se incluyen sólo con finalidad informativa.
PEARSON EDUCACIÓN S.A. no asume ningún tipo de responsabilidad por los daños y perjuicios derivados del uso de los datos personales que pueda hacer un tercero encargado del mantenimiento de las páginas web ajenas a PEARSON EDUCACIÓN S. A. y del funcionamiento, accesibilidad o mantenimiento de los sitios web no gestionados por PEARSON EDUCACIÓN S.A. Las referencias se proporcionan en el estado en que se encuentran en el momento de publicación sin garantías, expresas o implícitas, sobre la información que se proporcione en ellas.

Texto e ilustraciones

Frederic (Ric) Martini
Autor

El Dr. Martini hizo el doctorado en la *Cornell University* en Anatomía Comparada y Funcional, mediante un trabajo sobre la fisiopatología del estrés. Sus publicaciones abarcan artículos de revistas científicas y capítulos redactados por invitación, informes técnicos y colaboraciones en semanarios. Es coautor de otros seis textos dirigidos a los estudiantes sobre anatomía y fisiología o anatomía. Actualmente pertenece al claustro de la *University of Hawaii* y sigue en contacto con el *Shoals Marine Laboratory,* una institución conjunta entre la *Cornell University* y la *University of New Hampshire.* En la actualidad es presidente emérito de la *Human Anatomy and Physiology Society* después de sus períodos como presidente electo, presidente y antiguo presidente entre 2004 y 2007. También es miembro de la *American Physiological Society,* la *American Association of Anatomists,* la *Society for Integrative and Comparative Biology,* la *Australia/New Zealand Association of Clinical Anatomists* y la *International Society of Vertebrate Morphologists.*

Michael J. Timmons
Autor

Michael J. Timmons obtuvo diversos títulos en la *Loyola University* (Chicago). Durante más de tres décadas ha mantenido un decidido compromiso con la enseñanza a los estudiantes de enfermería y personas en formación del *Moraine Valley Community College.* En 2005-2006 se le concedió el premio como profesor del año del *Moraine Valley College* y el premio a la excelencia del *National Institute for Staff and Organizational Development,* por sus destacadas aportaciones a la docencia, la dirección y el aprendizaje alcanzado por los estudiantes. Asimismo, recibió el premio a la excelencia en la enseñanza concedido por la *Illinois Community College Board of Trustees.* El profesor Timmons ha escrito varios manuales de laboratorio sobre anatomía y fisiología y guías de disección. Sus campos de interés abarcan la fotografía medicobiológica, los programas de ilustración artística y la creación de sistemas para la enseñanza de la tecnología educativa. Presidió la *Midwest Regional Human Anatomy and Physiology Conference* y también realiza presentaciones nacionales y regionales en la *League for Innovation Conferences on Information Technology for Colleges and Universities* y en las reuniones celebradas por la *Human Anatomy and Physiology Society.*

Robert B. Tallitsch
Autor

El Dr. Tallitsch cursó su doctorado en Fisiología por la *University of Wisconsin* (Madison) a la edad de 24 años, teniendo Anatomía como materia secundaria. Desde entonces, ha formado parte del profesorado de Biología en el *Augustana College* de Rock Island (Illinois). Sus responsabilidades docentes abarcan Anatomía Humana, Neuroanatomía, Histología y Cinesiología. También pertenece al claustro de Estudios Asiáticos en el *Augustana College* e imparte un curso sobre Medicina China Tradicional. En siete de los nueve últimos años, el Dr. Tallitsch ha sido designado uno de los «profesores extraoficiales del año» por parte de los graduados del *Augustana College.* Es miembro de la *American Physiological Society,* la *American Association of Anatomists, AsiaNetwork* y la *Human Anatomy and Physiology Society.* Además de sus actividades pedagógicas en el *Augustana College,* el Dr. Tallitsch ha sido miembro del cuerpo de profesores invitados en la Facultad de Lenguas Extranjeras de la Universidad de Medicina China y Farmacología de Pekín (Pekín, RPC) y en la Facultad de Lenguas Extranjeras de la Universidad Normal de China Central (Wuhan, RPC).

William C. Ober
Coordinador de imágenes e ilustrador

El Dr. William C. Ober recibió su título de diplomado en la *Washington and Lee University* y su licenciatura de Medicina en la *University of Virginia.* Durante su paso por la facultad, también estudió en el Departamento de Arte Aplicado a la Medicina de la *Johns Hopkins University.* Después de acabar la carrera, el Dr. Ober realizó una residencia de Medicina de Familia y más tarde perteneció al claustro de la *University of Virginia* en el *Department of Family Medicine.* En la actualidad es profesor asociado de Biología en la *Washington and Lee University* y forma parte del *Core Faculty* en el *Shoals Marine Laboratory,* donde todos los veranos enseña Dibujo para Biología. Los libros de texto ilustrados por *Medical & Scientific Illustration* han obtenido numerosos premios de diseño e ilustración.

Claire W. Garrison
Ilustradora

Claire W. Garrison, R.N., B.A., ejerció la enfermería pediátrica y obstétrica antes de pasar a la ilustración médica con dedicación plena. Regresó a los estudios en el *Mary Baldwin College,* donde recibió su título con honores en Dibujo de Interiores. Tras un aprendizaje de cinco años, ha trabajado como socia del Dr. Ober en *Medical & Scientific Illustration* desde 1986. Está en el *Core Faculty* del *Shoals Marine Laboratory* y colabora en el curso de Dibujo para Biología.

Kathleen Welch

Asesora clínica

La Dra. Welch obtuvo su licenciatura en Medicina en la *University of Washington* de Seattle y realizó su residencia de Medicina de Familia en la *University of North Carolina* en Chapel Hill. Durante dos años, fue directora de Salud Materna e Infantil del *LBJ Tropical Medical Center* en la Samoa estadounidense y más tarde formó parte del Departamento de Medicina de Familia en la *Kaiser Permanente Clinic* de Lahaina (Hawai). Ha ejercido en el campo privado desde 1987. La Dra. Welch es *Fellow* de la *American Academy of Family Practice* y miembro de la *Hawaii Medical Association* y la *Human Anatomy and Physiology Society.* Ha sido coautora con el Dr. Martini de un libro de texto sobre Anatomía y Fisiología y del *A & P Applications Manual* publicado como suplemento a la octava edición de *Fundamentals of Anatomy & Physiology.*

Ralph T. Hutchings

Fotógrafo de biología

Ralph T. Hutchings estuvo 20 años vinculado a *The Royal College of Surgeons of England.* Ingeniero de profesión, durante años se ha entregado a fotografiar la estructura del cuerpo humano. El fruto de todo esto ha sido una serie de atlas en color, entre los que se incluyen *Color Atlas of Human Anatomy, Color Atlas of Surface Anatomy* y *The Human Skeleton* (todos publicados por Mosby-Yearbook Publishing). Gracias a su representación anatómica del cuerpo humano, la *International Photographers Association* ha elegido a Hutchings como mejor fotógrafo del cuerpo humano en el siglo xx. Vive al norte de Londres, donde procura mantener un equilibrio entre las exigencias que le impone su labor fotográfica y su afición por los automóviles y los aviones antiguos.

Prefacio

Bienvenidos a la sexta edición de *Anatomía humana.* A lo largo de su preparación, los autores e ilustradores se han centrado en responder a dos preguntas:

1) ¿Cómo es posible mejorar su presentación para favorecer la comprensión y el interés del estudiante?

Para fomentar la *comprensión,* prestamos una atención especial a los temas más difíciles de la anatomía humana y a ciertas materias identificadas por los estudiantes y los revisores. Algunos de los cambios son importantes, otros no lo son tanto, pero todos manifiestan una profunda deliberación basada en la experiencia docente acumulada por los autores. Para potenciar el *interés,* ampliamos el contenido clínico en todos los capítulos y añadimos nuevos estudios de «Casos clínicos» al final de cada sistema corporal.

2) ¿Cómo puede perfeccionarse aún más el mejor programa existente para la ilustración de libros de texto en su aplicación a la asignatura de Anatomía Humana dentro de la licenciatura como medio de enseñanza y aprendizaje?

Este libro de texto siempre ha sido conocido por su formato característico al estilo de un atlas y por su presentación visual de los conceptos anatómicos sin parangón. En la sexta edición, el color de las imágenes está más saturado para atraer mejor la atención de los estudiantes, y se ha realzado el contraste entre los tonos para delimitar y diferenciar mejor las estructuras y facilitar la enseñanza y el aprendizaje.

Igual que en las ediciones anteriores, el texto y las ilustraciones están claramente integrados para suministrar un sistema pedagógico unitario. Los dibujos no se quedan en un mero apoyo auxiliar a la narración, sino que forman pareja con el texto en su función de transmitir información y ayudar a los estudiantes a entender las estructuras y las relaciones, de un modo que distingue de todos los demás a este libro de texto de Anatomía Humana.

Estas primeras páginas del «Prefacio» describen las revisiones tanto globales como capítulo a capítulo a las que se han sometido el texto y las ilustraciones. El recorrido visual siguiente recoge las características clave del libro de texto y de los materiales técnicos de ayuda que lo acompañan y que carecen de precedentes.

Revisiones globales

Revisión del texto

La sexta edición de *Anatomía humana* incorpora el apartado **«Caso clínico»** al concluir cada sistema corporal. Aparecen al final de los capítulos 4, «Sistema tegumentario»; 8, «Sistema óseo»; 11, «Sistema muscular»; 18, «Sistema nervioso»; 19, «Sistema endocrino»; 22, «Aparato cardiovascular»; 23, «Sistema linfático»; 24, «Aparato respiratorio»; 25, «Aparato digestivo»; 26, «Aparato urinario», y 27 «Aparato reproductor». El objetivo de la anatomía no es el aprendizaje de memoria, sino la comprensión. Estos «Casos clínicos» están concebidos con el fin de mostrar cómo los diversos temas cubiertos por el texto presentan una clara vinculación e integración entre sí. No todos los alumnos inscritos en un curso de Anatomía Humana pretenden convertirse en profesionales sanitarios. Sin embargo, contamos con que estos «Casos clínicos» les revelarán cómo interactúa cada sistema corporal y la importante función que desempeña en la presentación de los síntomas y los signos de una enfermedad. Esta interacción entre los sistemas permite al médico reconstruir los distintos indicios que darán el diagnóstico correcto del paciente. Uno de los elementos vitales que contribuyen al éxito es el entendimiento riguroso de los conceptos anatómicos básicos. Nuestro propósito es que el estilo de los «Casos clínicos» y su contenido sirvan a los estudiantes para *aprender* los conceptos anatómicos recogidos en este texto, en lugar de limitarse a memorizar hechos aislados sin comprender sus relaciones.

Hemos incrementado la cantidad de **«Notas clínicas»** contenidas en los capítulos. El texto ofrece observaciones clínicas pertinentes a los datos anatómicos de cada capítulo.

Deseábamos mejorar la presentación de los **«Resúmenes de embriología»** que llevaban las ediciones anteriores. Para otorgarles un aspecto más integral, los hemos trasladado a dos capítulos clave dentro del texto. Ahora, los «Resúmenes de embriología» aparecen al final del capítulo 3, «Tejidos y primeras etapas del desarrollo», y en el 28, «Embriología y desarrollo humano».

La sexta edición de *Anatomía humana* sigue fiel a los términos aprobados por la *International Federation of Associations of Anatomists* según su publicación en la *Terminologia Anatomica* (TA) de 1998. Por razones prácticas, hemos utilizado las expresiones de la TA y las admitidas a nivel internacional y respaldadas por la *American Association of Anatomists* y otras organizaciones profesionales, antes que las opciones más antiguas de uso habitual, y a menudo idiosincrásicas. La histología y la citología, como subespecialidades de la anatomía, han carecido de un vocabulario concertado en común. En 2007, el *Federative International Committee on Anatomical Terminology* publicó la *Terminologia Histologica: International Terms for Human Cytology and Histology* (TH). En esta sexta edición de *Anatomía humana* hemos incorporado estos nuevos términos histológicos.

Revisión de las ilustraciones

El programa de ilustración ha sufrido una profunda revisión en la sexta edición de *Anatomía humana.* En cada figura se evaluó el grado de calidad con el que presentaba los datos anatómicos en un sentido visual. Aproximadamente el 85% de las imágenes de esta edición son nuevas o se han modificado.

La gama de colores emplea nuevos tonos más intensos y un mayor trabajo de perspectiva (p. ej., las figuras 2.3, 2.15, 5.7, 9.9, 13.5, 13.8, 13.12, 14.1, 14.8, 14.13, 14.14 y 14.17).

En la sexta edición se han mantenido y ampliado muchas de las novedades. Observará **figuras dobles** y **figuras macroscópicas-microscópicas,** que son un sello de este libro. Las **figuras paso a paso** facilitan la comprensión de procesos anatómicos secuenciales y así fomentan el aprendizaje de los estudiantes (p. ej., las figuras 5.5 y 5.11). Las zonas en detalle de numerosas figuras se han revisado para aumentar su claridad. Además, se han empleado muchos cuadros y títulos para organizarlas mejor (p. ej., las figuras 9.5, 25.1 y 26.6). En la sexta edición se ha incrementado la superposición de dibujos sobre fotos de anatomía superficial (p. ej., las figuras 10.10, 11.2, 11.3, 11.5, 11.7, 14.10, 14.11b,c, 15.26, 15.28, 15.29, 15.30, 21.6, 21.9, 23.4 y 23.10) para que los estudiantes comprendan mejor la ubicación de las estructuras dentro del cuerpo humano. La información extraída de las disecciones superficiales y profundas es más fácil de entender con el nuevo estilo de encabezamiento que se ha colocado en muchas de las figuras (p. ej., la figura 23.14b).

Revisiones capítulo a capítulo

Las revisiones específicas introducidas capítulo a capítulo son las siguientes, con algunos ejemplos escogidos:

Capítulo 1 «Introducción a la anatomía»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron cambios en la terminología según la TA.

Capítulo 2 «La célula»
- Quince ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron cambios en la terminología según la TA y la TH.
- Se reorganizó el orden de presentación de parte del material para facilitar el aprendizaje del estudiante.

Capítulo 3 «Tejidos y primeras etapas del desarrollo»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron cambios en la terminología según la TA y la TH.
- Se reorganizó el orden de presentación de parte del material para facilitar el aprendizaje del estudiante.
- Se añadió nuevo material para actualizar el capítulo de acuerdo con las últimas investigaciones histológicas.
- Los «Resúmenes de embriología» que aparecían intermitentemente a lo largo de todos los capítulos en las ediciones anteriores de *Anatomía humana* se han reunido en este capítulo y en el 28, lo que ofrece a los estudiantes una exposición más integral de la embriología y el desarrollo humano.

Capítulo 4 «Sistema tegumentario»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron cambios en la terminología según la TA y la TH.
- Se añadió nuevo material a la exposición de la epidermis, y el ya existente se modificó para simplificar su comprensión.

Capítulo 5 «Sistema óseo: Tejido óseo y estructura del esqueleto»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se añadió nuevo material a la exposición de la remodelación y reparación ósea, y el existente se modificó para simplificar su lectura y comprensión.
- Se añadió nuevo material a la exposición de las células óseas para ceñirse a la terminología y las investigaciones histológicas actuales.

Capítulo 6 «Sistema óseo: Cabeza y tronco»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se añadió nuevo material a la exposición de los huesos del cráneo para ceñirse a la terminología y las investigaciones anatómicas actuales.
- Se añadió nuevo material a la exposición de las regiones vertebrales, y se ha aclarado el existente.

Capítulo 7 «Sistema óseo: Extremidades»
- Cinco ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se añadió nuevo material a la exposición de la clavícula, la escápula, el húmero, la cintura pélvica, la rótula, la tibia y la bóveda plantar, y se ha aclarado el existente.

Capítulo 8 «Sistema óseo: Articulaciones»
- Once ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se acometió una amplia revisión de este capítulo, con la incorporación de nuevo material y la aclaración del existente en casi todos sus apartados.

Capítulo 9 «Sistema muscular: Tejido muscular estriado y organización muscular»
- Once ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- En este capítulo se añadió un nuevo apartado titulado «Palancas y poleas: un diseño de sistemas para el movimiento». Este apartado ofrece ejemplos de poleas anatómicas y esboza el funcionamiento de estas estructuras y cómo favorecen la actividad de los músculos estriados.

Capítulo 10 «Sistema muscular: Musculatura de la cabeza y del tronco»
- Once ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Los apartados titulados «Músculos de la columna vertebral» y «Músculos del periné y del diafragma pélvico» se han actualizado y aclarado.

Capítulo 11 «Sistema muscular: Musculatura de las extremidades»
- Diecisiete ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- En este capítulo se ha añadido un nuevo apartado titulado «Factores que influyen sobre la función de los músculos de las extremidades». Esta sección sirve para que los estudiantes emprendan el proceso de comprender las acciones de los músculos estriados en una articulación. También explica el concepto de línea de acción de un músculo, y cómo los estudiantes, una vez determinada esa línea, pueden aplicar tres reglas sencillas para averiguar la acción de un músculo sobre esa articulación.

Capítulo 12 «Anatomía de superficie y por cortes transversales»
- Se han añadido al capítulo siete imágenes transversales nuevas del *Visible Human Project* (posteriormente procesadas). Su presencia servirá para que los estudiantes adquieran una comprensión tridimensional de los conceptos anatómicos.

Capítulo 13 «Sistema nervioso: Tejido nervioso»
- Ocho ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se actualizaron los apartados titulados «Neuroglia del SNC» y «Comunicación sináptica» para ceñirse a los resultados actuales obtenidos por las investigaciones en este campo.

Capítulo 14 «Sistema nervioso: Médula espinal y nervios raquídeos»
- Doce ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se amplió la exposición sobre las meninges de la médula espinal.
- Se amplió la exposición de la anatomía por cortes de la médula espinal, concediendo una atención especial a la revisión del apartado «Organización de la sustancia gris».
- Se ha reescrito el apartado «Nervios raquídeos» para facilitar el aprendizaje y la comprensión del estudiante.
- Se reescribieron los apartados «Plexo braquial» y «Plexos lumbar y sacro» para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 15 «Sistema nervioso: Encéfalo y nervios craneales»
- Veinte ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 16 «Sistema nervioso: Vías y funciones superiores»
- Siete ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 17 «Sistema nervioso: División autónoma»
- Once ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 18 «Sistema nervioso: Sensibilidad general y sentidos especiales»
- Veintitrés ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 19 «Sistema endocrino»
- Once ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 20 «Aparato cardiovascular: La sangre»
- Seis ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se actualizaron todos los apartados de este capítulo para ceñirse a los resultados actuales obtenidos con las investigaciones en este campo.

Capítulo 21 «Aparato cardiovascular: El corazón»
- Siete ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se reescribieron los apartados «Discos intercalados», «Orientación y anatomía superficial del corazón» y «Vasos sanguíneos coronarios» para responder a los nuevos resultados obtenidos con las investigaciones en este campo y para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 22 «Aparato cardiovascular: Vasos y circulación»
- Veinte ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se actualizaron todos los apartados de este capítulo para ceñirse a los resultados actuales obtenidos con las investigaciones en este campo.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 23 «Sistema linfático»
- Quince ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se actualizaron todos los apartados de este capítulo para ceñirse a los resultados actuales obtenidos con las investigaciones en este campo.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 24 «Aparato respiratorio»
- Trece ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se han efectuado correcciones para responder a la información histológica actual sobre el aparato respiratorio.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 25 «Aparato digestivo»
- Veintiuna ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron correcciones para responder a la información histológica actual sobre los diversos órganos del aparato digestivo.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 26 «Aparato urinario»
- Seis ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron correcciones para responder a la información histológica actual sobre los diversos órganos del aparato urinario.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

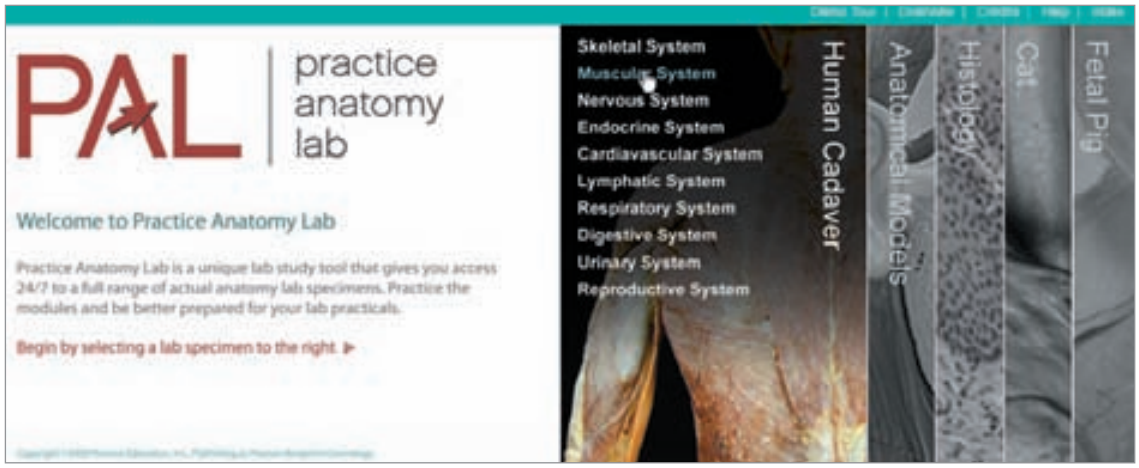
Capítulo 27 «Aparato reproductor»
- Diecisiete ilustraciones de este capítulo son nuevas o se han modificado considerablemente.
- Se efectuaron correcciones para responder a la información histológica actual sobre los diversos órganos de los aparatos reproductores masculino y femenino.
- Se introdujeron modificaciones parciales o totales en todos los apartados de este capítulo para hacerlos más fáciles de entender.

Capítulo 28 «Aparato reproductor: Embriología y desarrollo humano»
- Todos los «Resúmenes de embriología» se han modificado considerablemente en este capítulo.
- Los «Resúmenes de embriología» que aparecían intermitentemente a lo largo de todos los capítulos en las ediciones anteriores de *Anatomía humana* se han reunido en este capítulo y en el 3, lo que ofrece a los estudiantes una exposición más integral de la embriología y el desarrollo humano.

NUEVO PAL™ 2.0

El instrumento práctico definitivo para la anatomía

Practice Anatomy Lab (PAL) 2.0 es un instrumento práctico e indispensable de anatomía virtual que ofrece a los estudiantes acceso 24 horas al día, siete días a la semana a las muestras de laboratorio de uso más generalizado, como **cadáveres humanos, modelos anatómicos, cortes histológicos, catálogos y fetos de cerdo.** Cada uno de los cinco módulos de piezas contiene cientos de imágenes, además de herramientas interactivas para examinar las muestras, oír los nombres de las estructuras anatómicas y realizar pruebas de múltiple elección y exámenes prácticos de laboratorio con espacios para rellenar. Las imágenes de las muestras están vinculadas a animaciones.


PAL
practice anatomy lab
Welcome to Practice Anatomy Lab
Practice Anatomy Lab is a unique lab study tool that gives you access 24/7 to a full range of actual anatomy lab specimens. Practice the modules and be better prepared for your lab practicals.
Begin by selecting a lab specimen to the right.
Skeletal System
Muscular System
Nervous System
Endocrine System
Cardiovascular System
Lymphatic System
Respiratory System
Digestive System
Urinary System
Reproductive System
Human Cadaver
Anatomical Models
Histology
Cat
Fetal Pig

NUEVO Características de PAL 2.0:

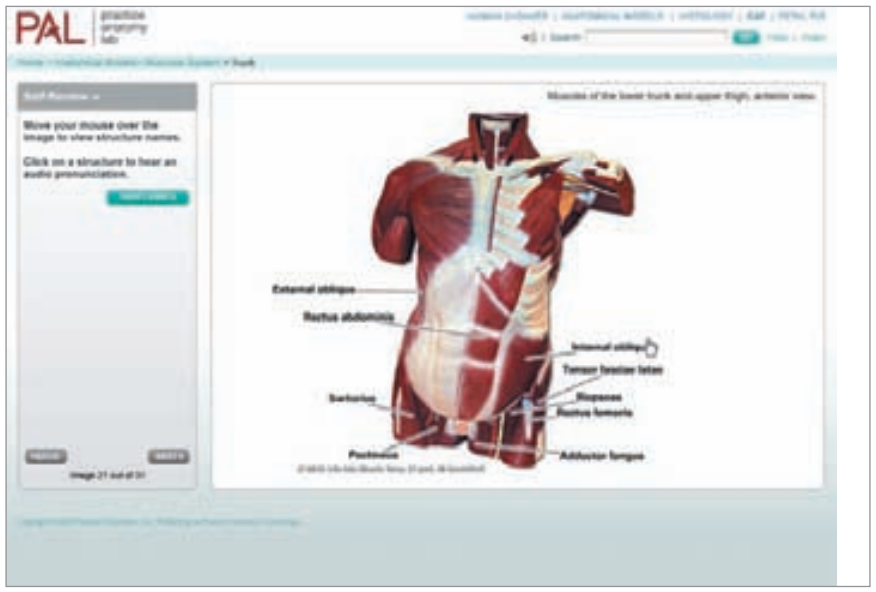
- **El módulo «Cadáver humano» es completamente nuevo** y contiene cientos de fotos de cadáveres, encargadas especialmente, en las tres secciones de actividades que lo componen. Este módulo también va equipado con un **cráneo humano** que permite su **rotación completa** y otras 17 estructuras del esqueleto que pueden girarse.
- **Las animaciones 3D de los orígenes, las inserciones, las acciones y las inervaciones** representan más de 65 músculos en el módulo «Cadáver humano». Los estudiantes pueden observarlas mientras oyen el nombre de un músculo y lo aprenden, lo que les ofrece **una experiencia docente integrada.** También lleva pruebas de diversa complejidad para las animaciones.
- **Las «Pruebas» y «Prácticas de laboratorio» personalizadas y de diversa complejidad** permiten a los profesores individualizar su contenido en línea para no reproducir más que aquellas estructuras sobre las que quieran examinar a sus alumnos. Las «Pruebas» y «Prácticas de laboratorio» están disponibles en el Computerized Test Bank (y en Microsoft® Word®) y en CourseCompass™, Blackboard y WebCT.
- **Un módulo «Histología» muy ampliado** contiene más imágenes de diversos tipos de tejidos.
- **Dos nuevos sistemas corporales, el endocrino y el linfático,** se han añadido a los módulos «Cadáver humano» y «Modelos anatómicos».

Fotos de cadáver encargadas especialmente

Cráneo humano de rotación completa

PAL 2.0 está en la página web de la guía myA&P™ (www.myaandp.com).
El **CD-ROM PAL 2.0** también puede adquirirse con el libro sin coste adicional.

Todo lo que necesitan los estudiantes para preparar sus prácticas de laboratorio



Tres secciones de actividades

La **«Autoevaluación»** permite a los estudiantes repasar los nombres de las estructuras, verlas realzadas, oír la pronunciación de los términos anatómicos y activar o suprimir los rótulos.

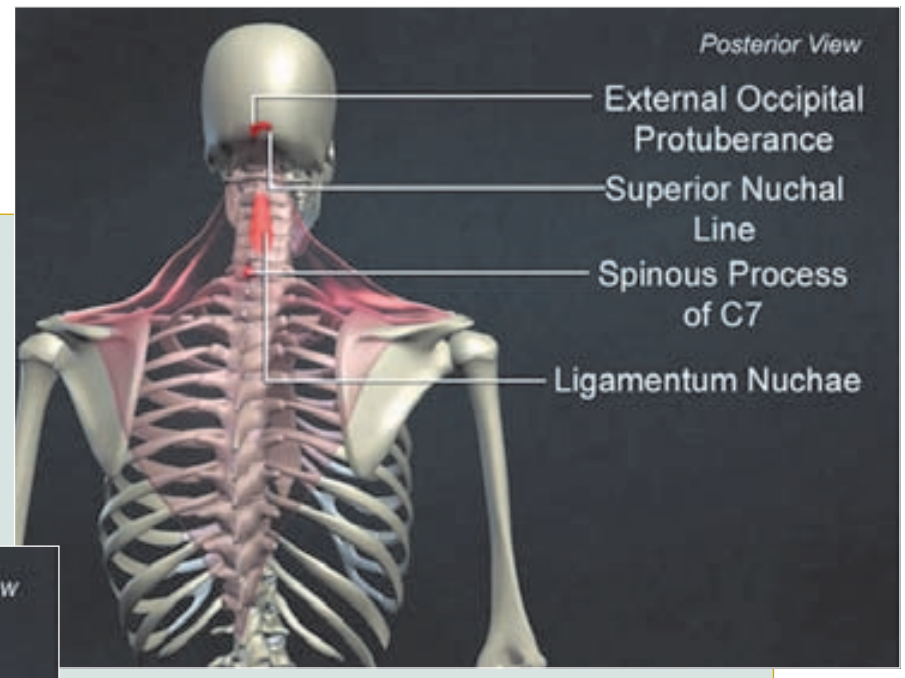
Las **«Pruebas»** ofrecen la posibilidad de que los estudiantes exploren sus propios conocimientos sobre las estructuras anatómicas y la anatomía funcional. Así, pueden recibir un comentario inmediato a sus contestaciones, o esperar a ver un resumen de los resultados con las respuestas correctas junto a las imágenes.

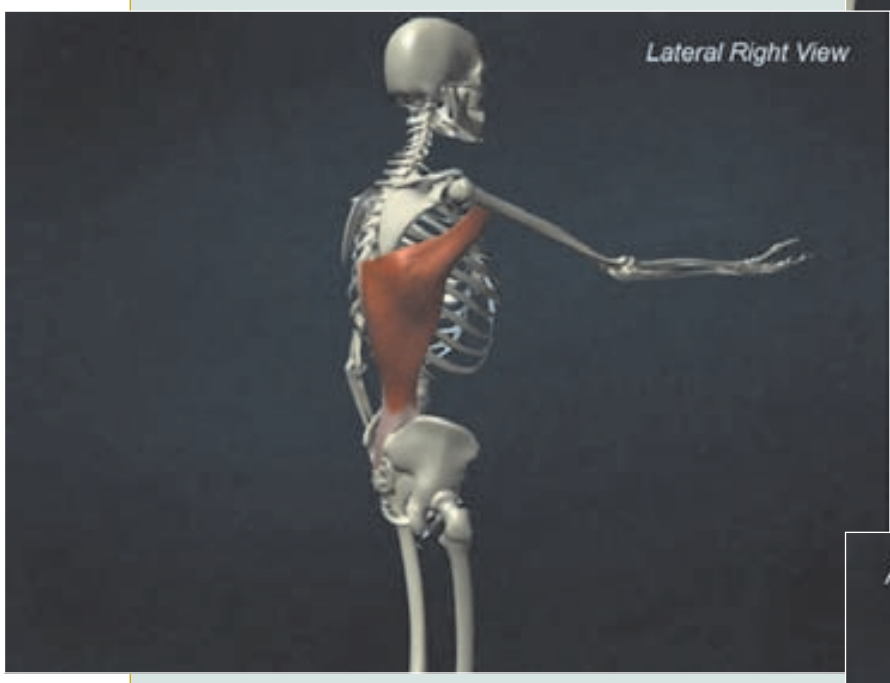
Las **«Prácticas de laboratorio»** simulan un examen práctico real de laboratorio. Las preguntas del examen con espacios para rellenar piden a los estudiantes que identifiquen y escriban el nombre de una serie de estructuras.

El **DVD con recursos para el profesor de PAL 2.0** lleva imágenes de PAL 2.0 rotuladas y sin rotular en formatos JPEG y PowerPoint®. La función *PowerPoint Label Edit* está lista en cada imagen con rótulos activables y líneas de señalización. Las diapositivas con las imágenes de PowerPoint llevan dentro sus vínculos de conexión para las animaciones 3D correspondientes de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones (v. página siguiente).

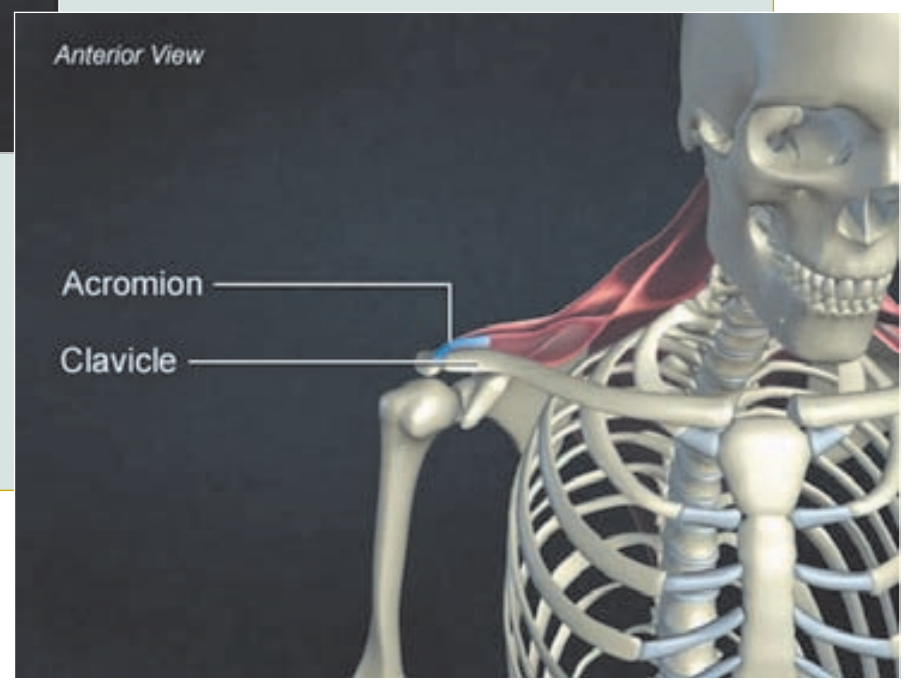
NUEVO Animaciones 3D de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones con pruebas de diversa complejidad

Vínculo desde más de 65 imágenes de músculos a estas animaciones 3D de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones en el módulo «Cadáver humano» de PAL 2.0. Las pruebas para las animaciones están en el apartado «Pruebas» de PAL 2.0 (v. página anterior).
Las pruebas personalizadas y de diversa complejidad también están disponibles en myA&P™ con CourseCompass™.





Disponible en PAL 2.0, myA&P y el Media Manager del profesor
(v. su despliegue a continuación).



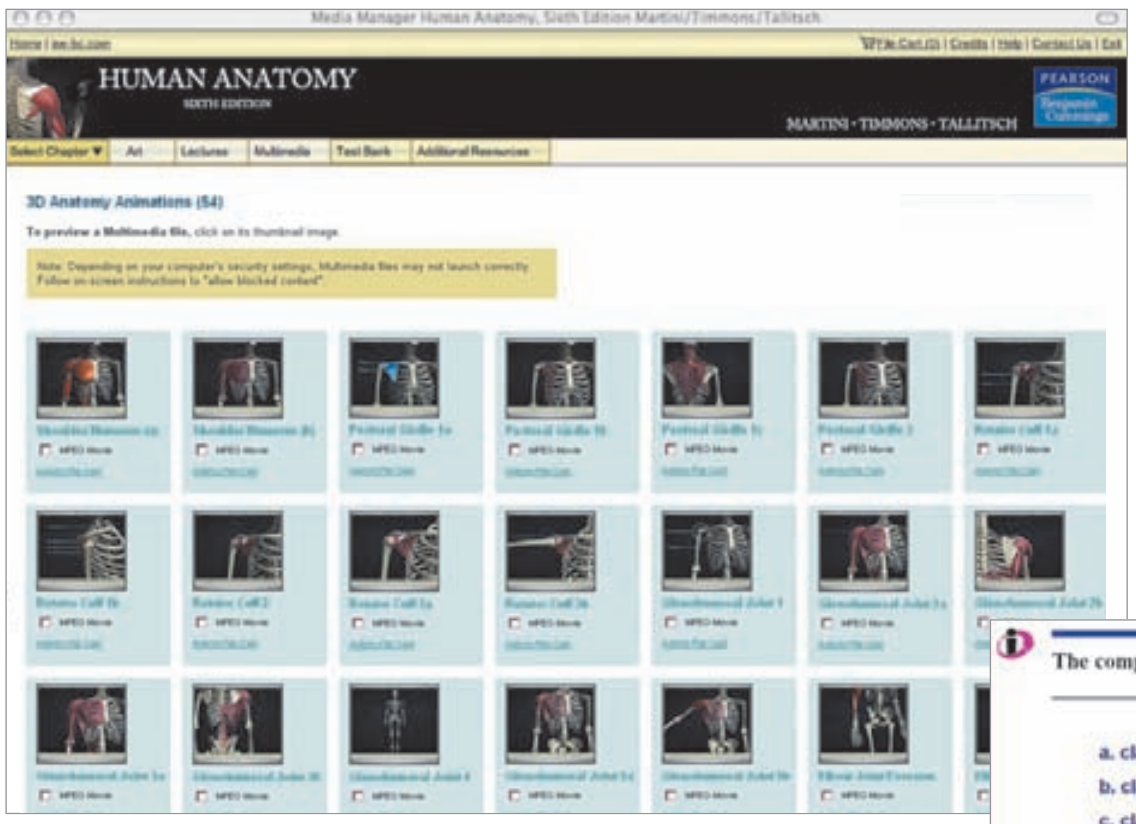
NUEVO Animaciones anatómicas 3D con pruebas de diversa complejidad

Estas 50 animaciones **ayudan a los estudiantes a entender las acciones musculares y articulares** y aparecen **tanto** en la página web de la guía myA&P™ **como** en el Media Manager del profesor (v. su despliegue a continuación). Las «Pruebas» personalizadas y de diversa complejidad también están contenidas en myA&P™ con CourseCompass™.

Página web de la guía myA&P™

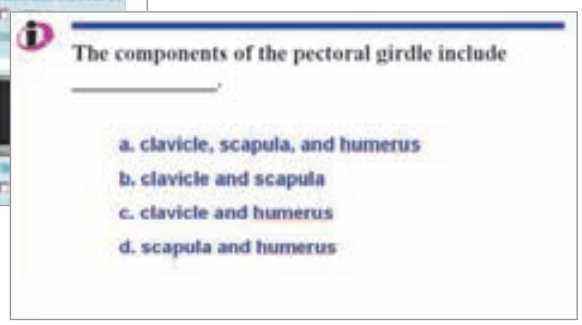
Cada animación va acompañada por una prueba de diversa complejidad.

Disponible en myA&P y el Media Manager del profesor (v. su despliegue a continuación).



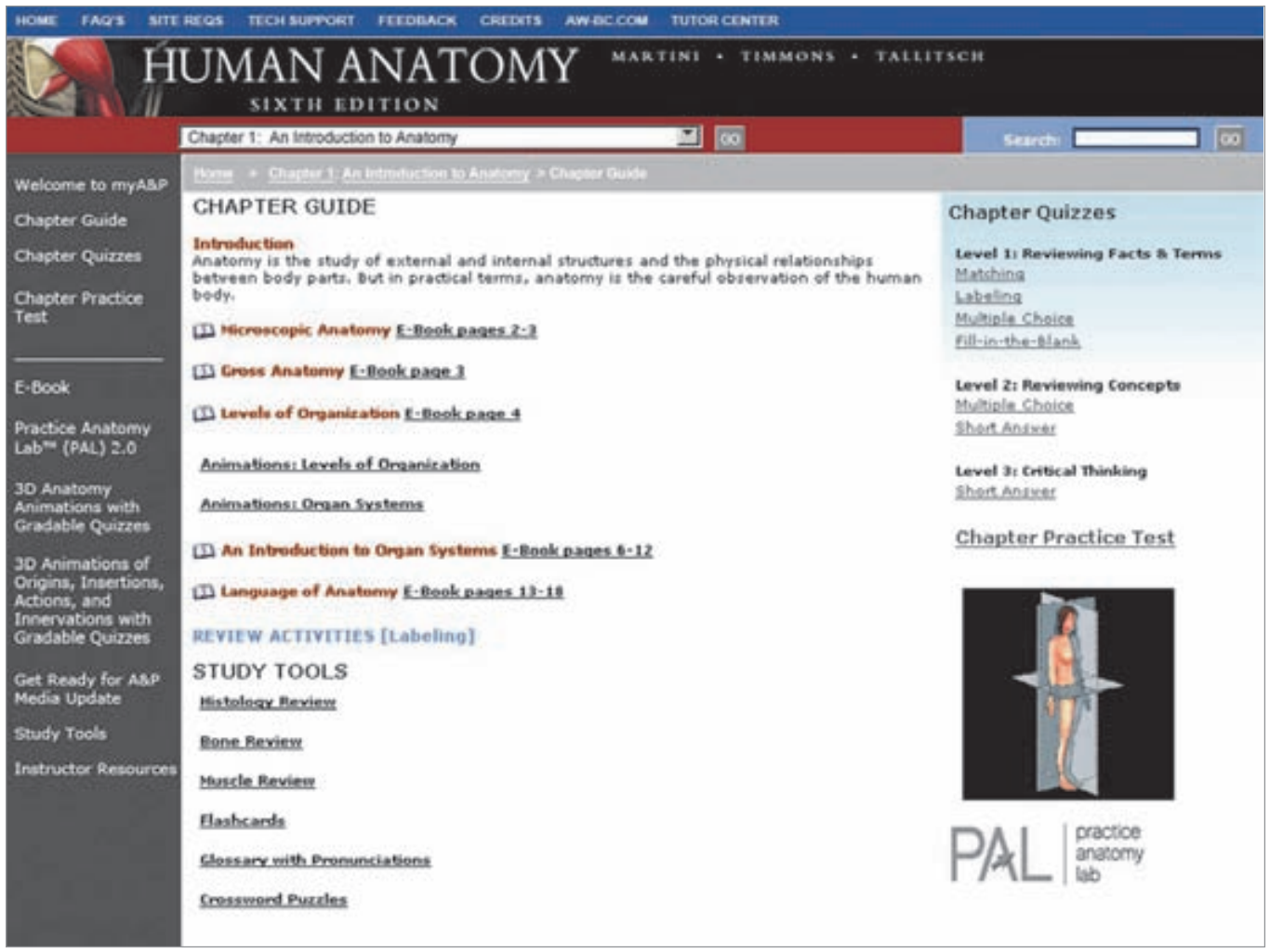
Media Manager del profesor

Las imágenes en miniatura permiten a los profesores escoger con rapidez las animaciones para su exposición en la clase. Todos los componentes que forman la prueba de animación de la página web de la guía myA&P están disponibles como preguntas para responder mediante el sistema de respuesta personalizada (SRP).


The components of the pectoral girdle include _____.
a. clavicle, scapula, and humerus
b. clavicle and scapula
c. clavicle and humerus
d. scapula and humerus

Página web de la guía myA&P™

Aprendizaje por la práctica


HOME FAQ'S SITE REQS TECH SUPPORT FEEDBACK CREDITS AW-BC.COM TUTOR CENTER
HUMAN ANATOMY
SIXTH EDITION
MARTINI • TIMMONS • TALLITSCH
Chapter 1: An Introduction to Anatomy
GO
Search:
GO
Welcome to myA&P
Chapter Guide
Chapter Quizzes
Chapter Practice Test
E-Book
Practice Anatomy Lab™ (PAL) 2.0
3D Anatomy Animations with Gradable Quizzes
3D Animations of Origins, Insertions, Actions, and Innervations with Gradable Quizzes
Get Ready for A&P Media Update
Study Tools
Instructor Resources
Home > Chapter 1: An Introduction to Anatomy > Chapter Guide
CHAPTER GUIDE
Introduction
Anatomy is the study of external and internal structures and the physical relationships between body parts. But in practical terms, anatomy is the careful observation of the human body.
Microscopic Anatomy E-Book pages 2-3
Gross Anatomy E-Book page 3
Levels of Organization E-Book page 4
Animations: Levels of Organization
Animations: Organ Systems
An Introduction to Organ Systems E-Book pages 6-12
Language of Anatomy E-Book pages 13-18
REVIEW ACTIVITIES [Labeling]
STUDY TOOLS
Histology Review
Bone Review
Muscle Review
Flashcards
Glossary with Pronunciations
Crossword Puzzles
Chapter Quizzes
Level 1: Reviewing Facts & Terms
Matching
Labeling
Multiple Choice
Fill-in-the-Blank
Level 2: Reviewing Concepts
Multiple Choice
Short Answer
Level 3: Critical Thinking
Short Answer
Chapter Practice Test
PAL practice anatomy lab

Características de la página web de la guía myA&P™:

- Las **guías de cada capítulo** ordenan todas las actividades y valoraciones específicas que contenga mediante una unidad docente en una página.
- Las **pruebas del capítulo** ahora llevan más material visual para marcar en las prácticas.
- Los **exámenes prácticos del capítulo** valoran la comprensión global adquirida por los estudiantes sobre el capítulo, e incluyen una función de cronómetro.
- El **libro electrónico** de ***Anatomía humana, sexta edición*** es una versión electrónica completa.
- El **Practice Anatomy Lab™ (PAL) 2.0** da acceso 24 horas al día, siete días a la semana, a las piezas de laboratorio de uso más difundido (v. su despliegue anterior).
- Las **animaciones anatómicas 3D con pruebas de diversa complejidad** explican y examinan a los estudiantes sobre los movimientos musculares y articulares (v. su despliegue anterior).
- Las **animaciones 3D de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones con pruebas de diversa complejidad** explican y examinan a los estudiantes sobre estos temas (v. su despliegue anterior).
- La **actualización de los medios *Get Ready for A&P*** contiene pruebas diagnósticas y da acceso a la página web ***Get Ready for A&P*** de manera que los estudiantes puedan acceder con rapidez a los temas fundamentales.
- Las **herramientas de estudio** abarcan un repaso de histología, un repaso óseo, un repaso muscular, tarjetas de estudio, un glosario con las pronunciaciones, crucigramas, etc.
- Un **libro de calificaciones** sigue la evolución y las notas obtenidas por los estudiantes.

myA&P

www.myaandp.com

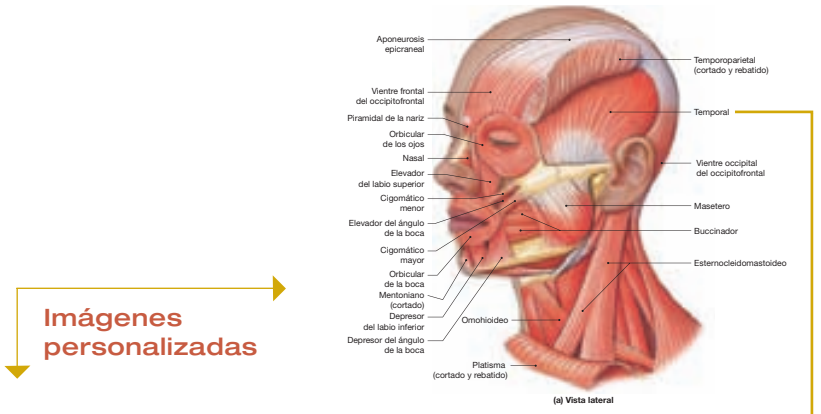
NUEVO Media Manager 2.1

Todos los recursos técnicos del profesor en un lugar conveniente

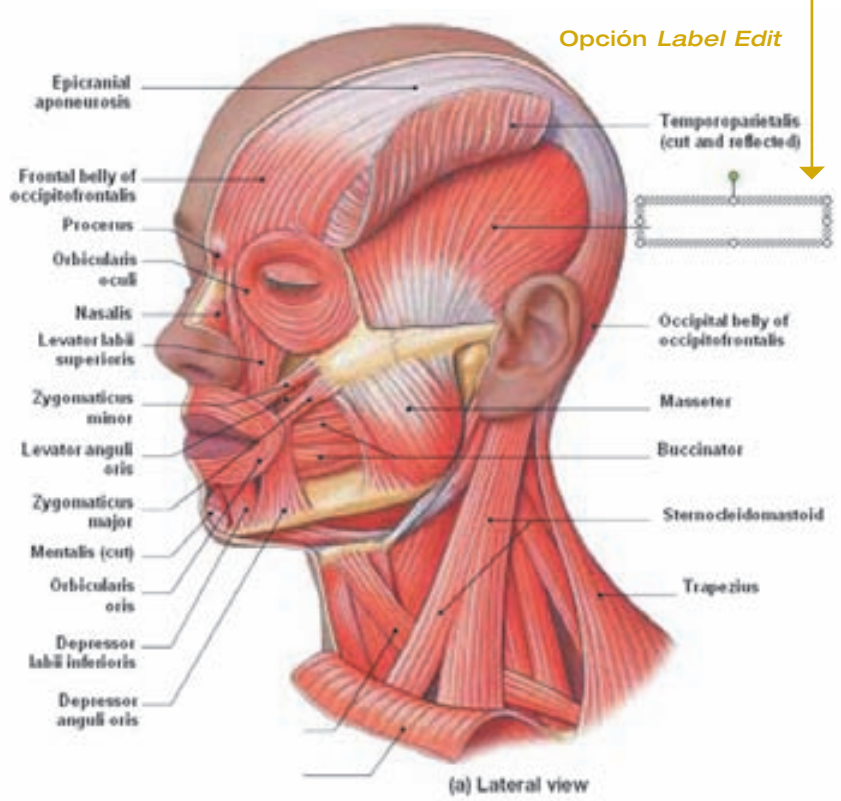
Media Manager ordena todos los recursos técnicos de cada capítulo para ofrecer al profesor **un paquete cómodo y fácil de usar.**

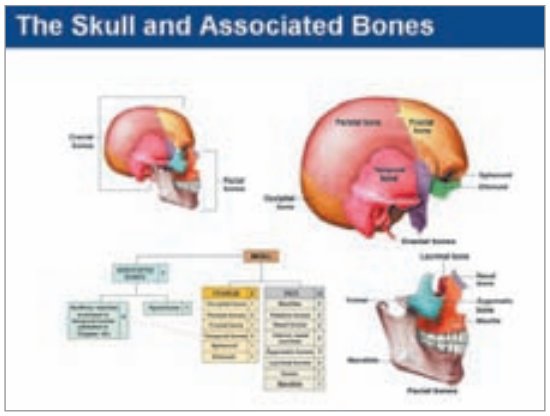
Novedades en Media Manager 2.1:

- **Una función de «carrito de la compra»** que permite a los profesores buscar, seleccionar y descargar cualquier parte con rapidez.
- **Análisis de los capítulos en «concursos»** (en formato de preguntas para responder mediante el SRP) que animan la interacción entre los estudiantes y favorecen el debate.
- **Más de 50 animaciones anatómicas 3D nuevas con pruebas** (en formato de preguntas para responder mediante el SRP) centradas en los conceptos anatómicos más difíciles de visualizar, sobre todo las acciones musculares y los movimientos articulares (v. el despliegue anterior).
- **Animaciones 3D de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones con pruebas** (en formato de preguntas para responder mediante el SRP) que sirven para que los estudiantes entiendan estos temas (v. su despliegue anterior).

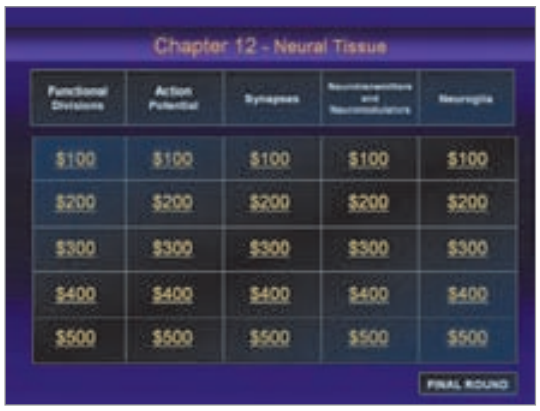


Imágenes personalizadas





Diapositivas de clase personalizadas en PowerPoint®



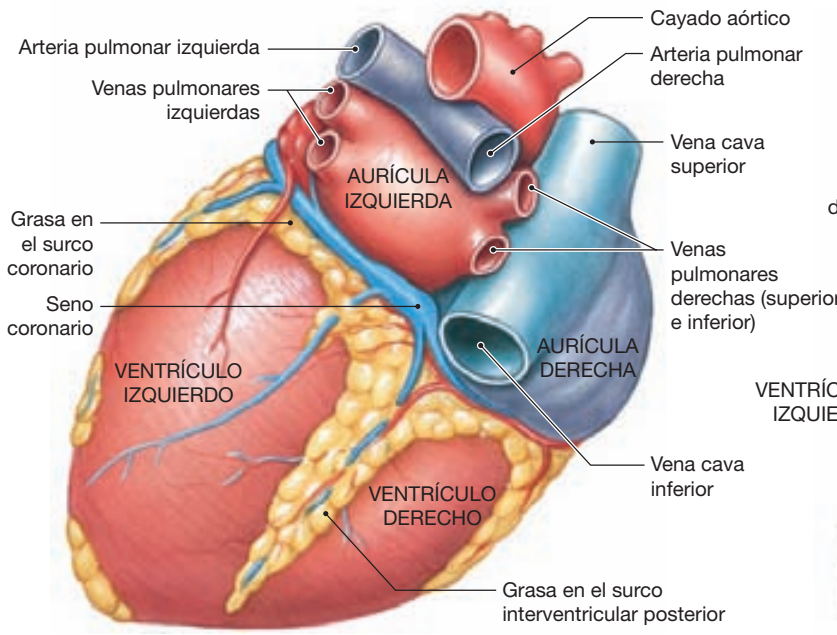
Análisis de los capítulos mediante concursos

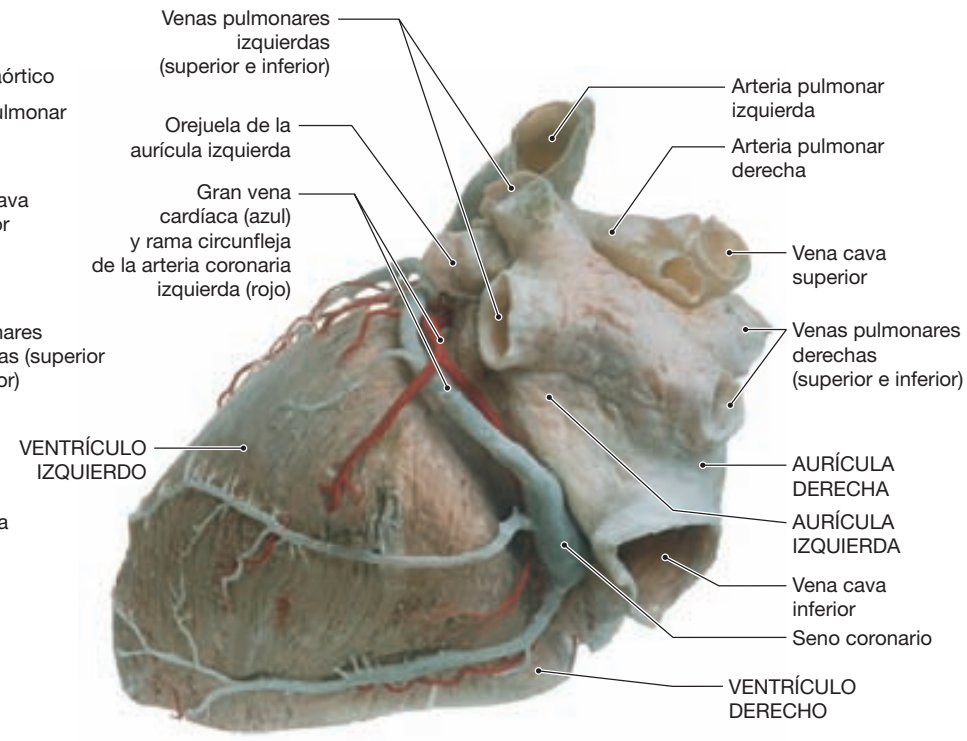
El **DVD con recursos para el profesor de PAL 2.0** lleva imágenes rotuladas y sin rotular en formatos JPEG y PowerPoint®. La función *PowerPoint Label Edit* está lista en cada imagen con rótulos activables y líneas de señalización. Las diapositivas con las imágenes de PowerPoint contienen vínculos insertados con las animaciones 3D correspondientes de los orígenes, inserciones, acciones e inervaciones.

Media Manager también incluye:

- **Imágenes personalizadas** que abarcan todas las ilustraciones y fotos del libro de texto. La función optativa ***Label Edit*** permite a los profesores elegir qué estructuras presentan.
- **Todas las tablas del libro de texto.**
- **Un banco de imágenes complementarias** (que no están en el libro de texto) con RM/TC, cortes histológicos y orígenes e inserciones musculares.
- **Todas las imágenes del *Martini's Atlas of Human Body.***
- **Diapositivas seleccionadas de *Interactive Physiology®* (IP)** sobre temas anatómicos.
- **Problemas activos de clase** que animan un debate eficaz en el aula y comprueban el grado de comprensión, en formato de preguntas para responder mediante el SRP.
- **Diapositivas personalizadas de clase en PowerPoint®,** en cada capítulo, que combinan notas de la lección, ilustraciones, fotografías, tablas y animaciones.
- **El banco de examen informatizado.**

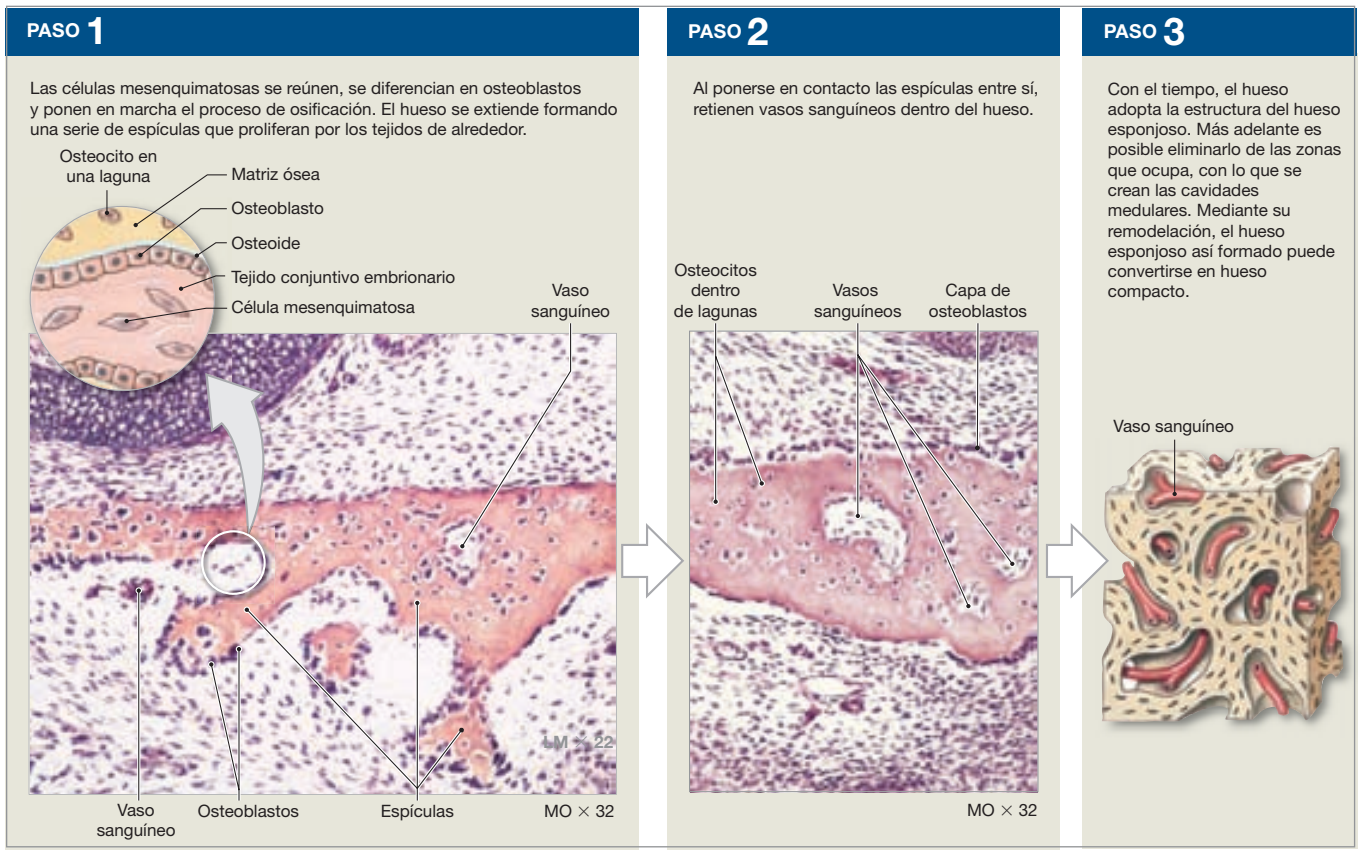
Imágenes como fuente de enseñanza




Venas pulmonares izquierdas (superior e inferior)
Orejuela de la aurícula izquierda
Gran vena cardíaca (azul) y rama circunfleja de la arteria coronaria izquierda (rojo)
VENTRÍCULO IZQUIERDO
Arteria pulmonar izquierda
Arteria pulmonar derecha
Vena cava superior
Venas pulmonares derechas (superior e inferior)
AURÍCULA DERECHA
AURÍCULA IZQUIERDA
Vena cava inferior
Seno coronario
VENTRÍCULO DERECHO

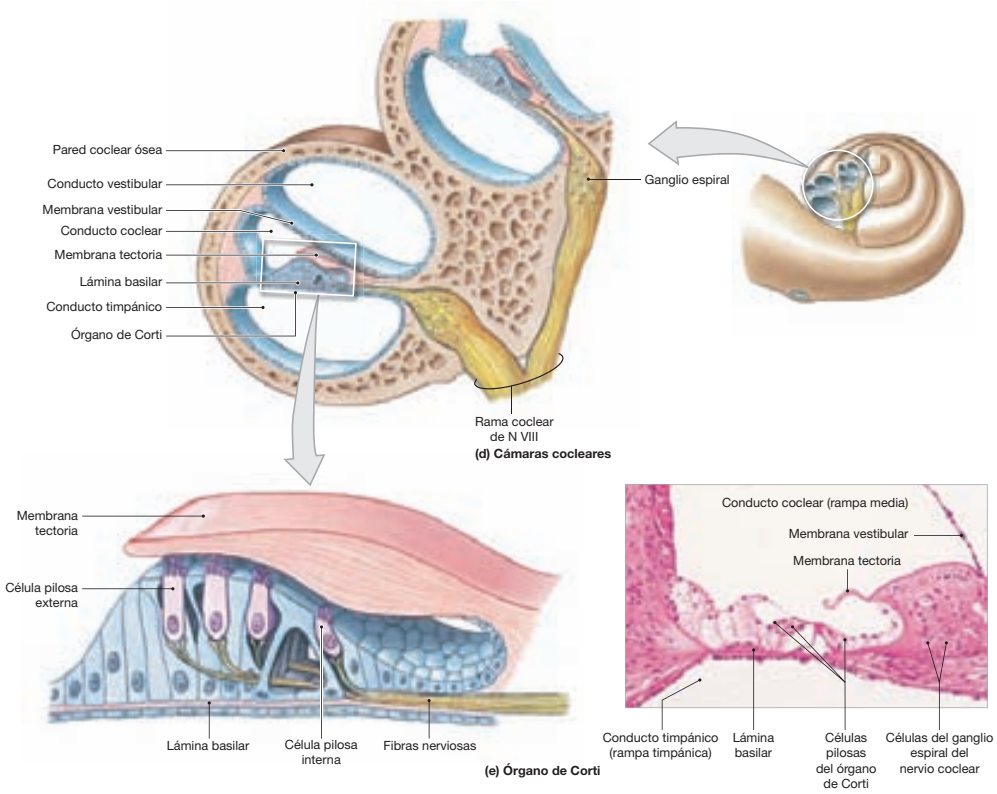
Figuras «dobles»

Las imágenes múltiples de la misma estructura o tejido permiten a los estudiantes comparar la versión de un ilustrador con una fotografía de la estructura o el tejido real tal como puede verse en un laboratorio o en un quirófano.


PASO 1
Las células mesenquimatosas se reúnen, se diferencian en osteoblastos y ponen en marcha el proceso de osificación. El hueso se extiende formando una serie de espículas que proliferan por los tejidos de alrededor.
Osteocito en una laguna
Matriz ósea
Osteoblasto
Osteoide
Tejido conjuntivo embrionario
Célula mesenquimatosa
Vaso sanguíneo
LM × 22
Vaso sanguíneo
Osteoblastos
Espículas
MO × 32
PASO 2
Al ponerse en contacto las espículas entre sí, retienen vasos sanguíneos dentro del hueso.
Osteocitos dentro de lagunas
Vasos sanguíneos
Capa de osteoblastos
MO × 32
PASO 3
Con el tiempo, el hueso adopta la estructura del hueso esponjoso. Más adelante es posible eliminarlo de las zonas que ocupa, con lo que se crean las cavidades medulares. Mediante su remodelación, el hueso esponjoso así formado puede convertirse en hueso compacto.
Vaso sanguíneo

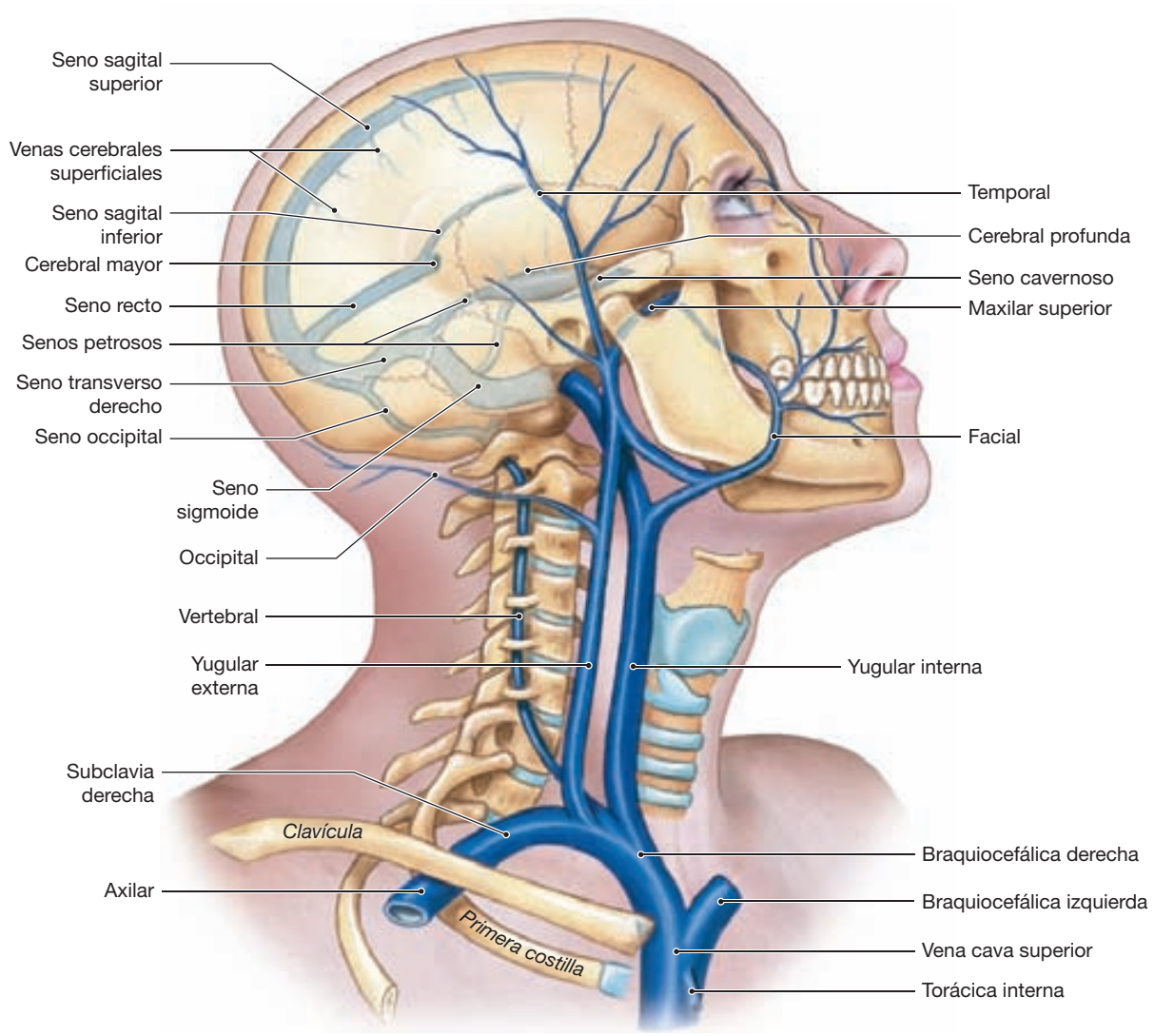
Figuras «por pasos»

Estas figuras descomponen los procesos multifacéticos en ilustraciones numeradas paso a paso y coordinadas con las descripciones de los autores en el texto.



Figuras «macroscópicas-microscópicas»

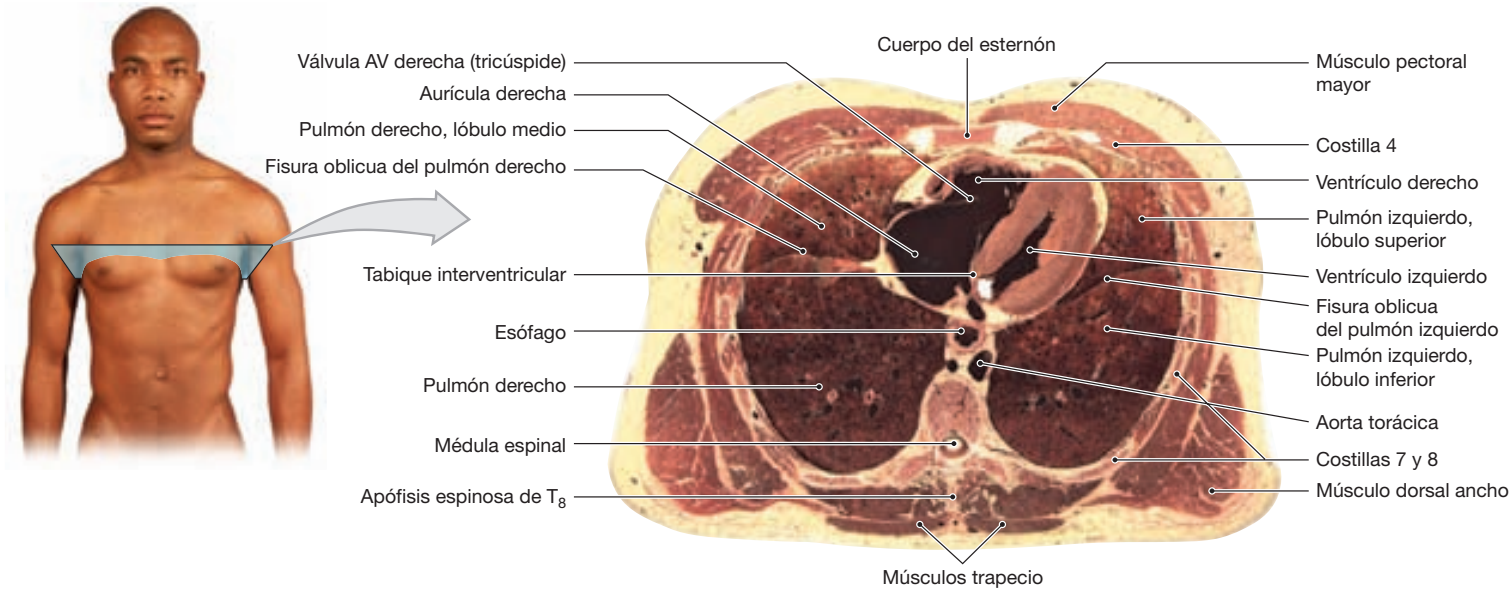
Estas figuras ayudan a que los estudiantes cubran la brecha abierta entre las estructuras conocidas y las desconocidas, al desglosar en sus componentes más pequeños la secuencia de imágenes anatómicas de órganos íntegros o de otras estructuras.



Figuras con «dibujo sobre fotografía»

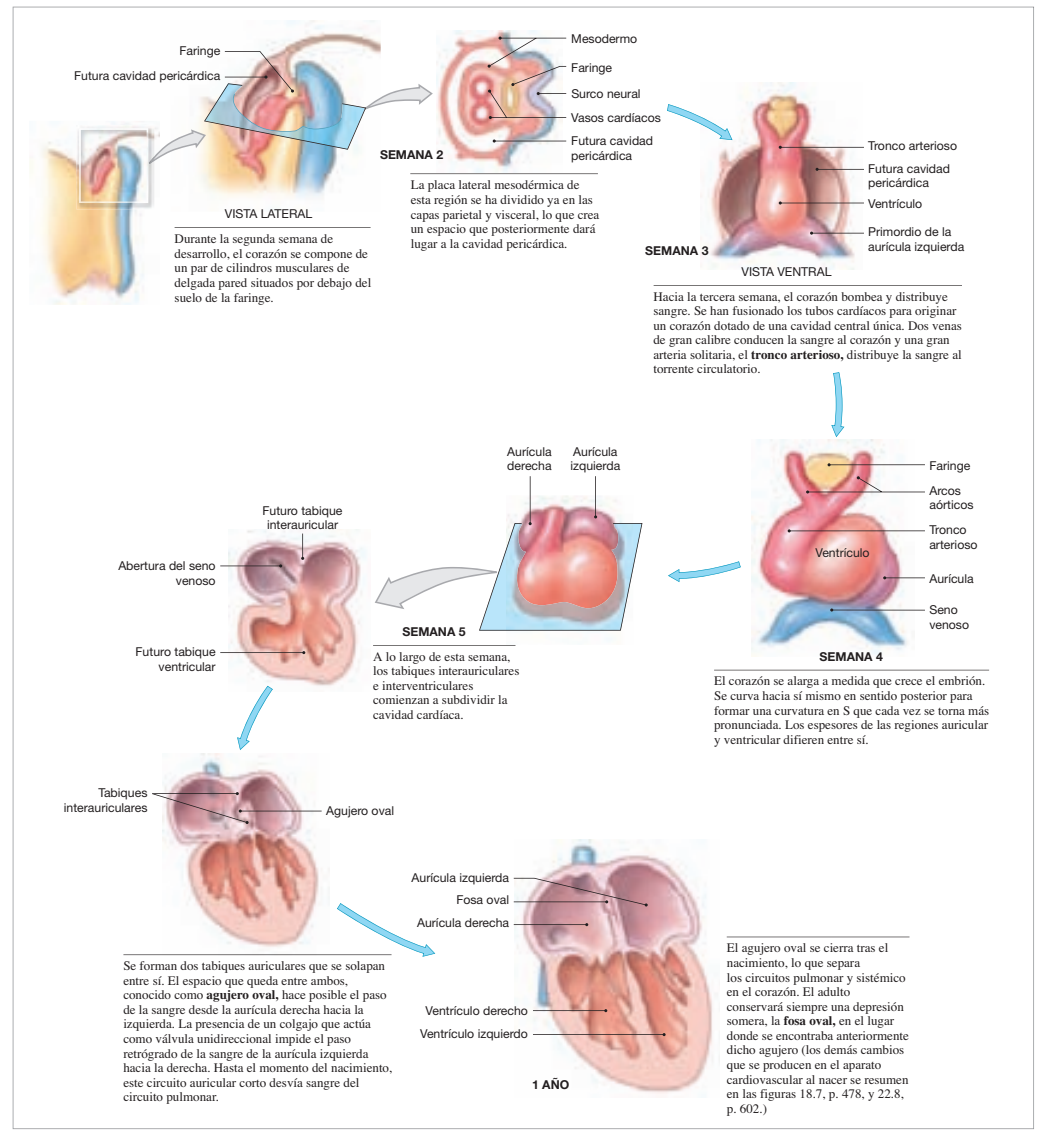
Este método de presentar las imágenes aporta profundidad, perspectiva e interés visual a la página, y garantiza que las estructuras ilustradas son de tamaño proporcional al cuerpo humano.

Imágenes como fuente de enseñanza *(cont.)*



NUEVO Figuras de anatomía por cortes transversales

El capítulo 12 ampliado, que ahora lleva el título «Anatomía de superficie y por cortes transversales», contiene siete imágenes transversales nuevas del *Visible Human Project* y posteriormente realzadas, para aportar a los estudiantes otra perspectiva diferente sobre el cuerpo humano.


Faringe
Futura cavidad pericárdica
VISTA LATERAL
Durante la segunda semana de desarrollo, el corazón se compone de un par de cilindros musculares de delgada pared situados por debajo del suelo de la faringe.
Mesodermo
Faringe
Surco neural
Vasos cardíacos
Futura cavidad pericárdica
SEMANA 2
La placa lateral mesodérmica de esta región se ha dividido ya en las capas parietal y visceral, lo que crea un espacio que posteriormente dará lugar a la cavidad pericárdica.
Tronco arterioso
Futura cavidad pericárdica
Ventrículo
Primordio de la aurícula izquierda
SEMANA 3
VISTA VENTRAL
Hacia la tercera semana, el corazón bombea y distribuye sangre. Se han fusionado los tubos cardíacos para originar un corazón dotado de una cavidad central única. Dos venas de gran calibre conducen la sangre al corazón y una gran arteria solitaria, el **tronco arterioso,** distribuye la sangre al torrente circulatorio.
Faringe
Arcos aórticos
Tronco arterioso
Ventrículo
Aurícula
Seno venoso
SEMANA 4
El corazón se alarga a medida que crece el embrión. Se curva hacia sí mismo en sentido posterior para formar una curvatura en S que cada vez se torna más pronunciada. Los espesores de las regiones auricular y ventricular difieren entre sí.
Aurícula derecha
Aurícula izquierda
SEMANA 5
A lo largo de esta semana, los tabiques interauriculares e interventriculares comienzan a subdividir la cavidad cardíaca.
Futuro tabique interauricular
Abertura del seno venoso
Futuro tabique ventricular
Tabiques interauriculares
Agujero oval
Se forman dos tabiques auriculares que se solapan entre sí. El espacio que queda entre ambos, conocido como **agujero oval,** hace posible el paso de la sangre desde la aurícula derecha hacia la izquierda. La presencia de un colgajo que actúa como válvula unidireccional impide el paso retrógrado de la sangre de la aurícula izquierda hacia la derecha. Hasta el momento del nacimiento, este circuito auricular corto desvía sangre del circuito pulmonar.
Aurícula izquierda
Fosa oval
Aurícula derecha
Ventrículo derecho
Ventrículo izquierdo
1 AÑO
El agujero oval se cierra tras el nacimiento, lo que separa los circuitos pulmonar y sistémico en el corazón. El adulto conservará siempre una depresión somera, la **fosa oval,** en el lugar donde se encontraba anteriormente dicho agujero (los demás cambios que se producen en el aparato cardiovascular al nacer se resumen en las figuras 18.7, p. 478, y 22.8, p. 602.)

Figuras de «Resumen de embriología»

Al destacar las etapas del desarrollo en los órganos, estructuras y sistemas más significativos, los «Resúmenes de embriología» que antiguamente aparecían repartidos por todo el libro con cada sistema orgánico se han fusionado en dos apartados importantes en los capítulos 3 y 28.

Caso clínico

SISTEMA ENDOCRINO

¿POR QUÉ YA NO PUEDO MANTENER EL RITMO?

Joan es una profesora de instituto de 35 años. Corre habitualmente y recorre unos 50-60 km semanales, por término medio. A Joan siempre le ha gustado correr y siguió entrenándose en el instituto y en la universidad. Su trayectoria como atleta alcanzó su mejor momento cuando ganó la carrera campo a través durante el tercer y cuarto año de competiciones interuniversitarias en la Universidad de Wisconsin-Madison. Desde que empezó a trabajar en la facultad hace 5 años, Joan ha seguido corriendo durante la semana y los fines de semana con varios de los profesores varones de la facultad. Siempre se ha sentido orgullosa de que puede correr, y de hecho corre, mucho más rápido que sus colegas de sexo masculino. Sin embargo, durante los seis últimos meses Joan ha notado que cada vez le cuesta más mantener su ritmo normal de carrera, incluso en distancias cortas de 3-5 kilómetros. Esto, unido a los frecuentes calambres musculares, dolores articulares, síntomas parecidos a los de un resfriado y fatiga crónica, le ha obligado a considerarse una «corredora vieja» y a pensar que ya no puede seguir compitiendo con sus compañeros de carrera habituales. Finalmente, Joan ha pedido cita con su médico de familia después de haber sido rechazada como donante de sangre debido a la anemia y a unas concentraciones totales de colesterol y triglicéridos demasiado altas.

Exploración inicial

El médico de familia examina a Joan. La exploración física aporta la siguiente información:

- Síntomas de resfriado y ronquera persistente desde hace 2-3 semanas.
- Problemas de estreñimiento frecuentes.
- Pigmentación amarillenta de la piel, pero que no afecta a la esclerótica.
- Piel fría, reseca, áspera y escamosa.
- Cara hinchada y edema periorbitario.
- Uñas gruesas y quebradizas.
- Ligera alopecia difusa en el cuero cabelludo y el tercio lateral de las cejas
- Presión arterial 110/80 mm Hg.
- Disminución de los reflejos tendinosos profundos con relajación muscular prolongada al valorar el reflejo del tendón de Aquiles.
- Glándula tiroides ligeramente aumentada de tamaño, de consistencia elástica a la palpación, sin sensibilidad.

El médico de Joan solicita las siguientes pruebas de laboratorio:

- Recuento hematológico completo.
- Perfil de lípidos.
- Análisis de orina.
- Concentraciones de TSH.
- Concentraciones de T_4 libre.

Exploración de seguimiento

Joan y su médico se reúnen al cabo de 1 semana para comentar los resultados de las pruebas de laboratorio. Dichos resultados demuestran lo siguiente:

- El recuento hematológico completo indica anemia ferropénica.
- El perfil de lípidos confirma un aumento del colesterol total, las lipoproteínas de baja densidad y los triglicéridos.
- La concentración plasmática de TSH es de 20 mU/L.
- La concentración de T_4 libre es de 0,6 ng/dL.

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

anemia: Cualquier trastorno en el que se observe una disminución clínica del número de eritrocitos o de la concentración de hemoglobina.
colesterol: El esteroide más abundante en los tejidos animales, especialmente en la bilis, y presente en los alimentos, especialmente en aquellos que contienen muchas grasas animales.
edema periorbitario: Acumulación de una cantidad excesiva de líquido acuoso en los espacios intersticiales de la piel que rodea los ojos.
esclerótica: Parte del estrato fibroso que forma la capa externa del globo ocular; el blanco de los ojos.
perfil de lípidos: Prueba de laboratorio que permite determinar las concentraciones y las características químicas de los lípidos suspendidos en la sangre de una persona.
recuento hematológico completo: Recuento de todos los eritrocitos, leucocitos y plaquetas presentes en una cantidad de sangre determinada.
reflejos tendinosos profundos (*reflejo miotáctico*): Contracción de los músculos en respuesta a la distensión como consecuencia de la estimulación de los propioreceptores.
trastorno inmunitario: Situación en la que el sistema linfático de una persona produce células y/o anticuerpos contra sus propios tejidos.
triglicérido: Ácido graso unido a glicerol; la principal forma en que se encuentran los lípidos en el organismo. También conocido como triacilglicerol.

NUEVO «Casos clínicos»

«Casos clínicos», presentes al final de cada uno de los capítulos que cierran un sistema corporal, guían a los estudiantes a través de la descripción de los síntomas de un paciente, de los resultados de su exploración física y de las pruebas de laboratorio, de unas preguntas atractivas que les animen a examinar los contenidos afines de los capítulos previos, de un breve análisis e interpretación del caso y, por último, de un diagnóstico.

(cont.)

rés

ganismo, antes o después, ocupa un lugar importante en signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir s que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico te. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como tación de dichos síntomas por parte del médico, contri- letectivesca.

significado de la información aportada en el caso des- que repase los contenidos anatómicos tratados en el sistema endocrino. Las siguientes preguntas le servirán su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, con- el capítulo 19 si necesita alguna ayuda.

ista, todos los síntomas de Joan parecen aleatorios y sin ción entre ellos. ¿Qué tienen en común todos estos sín-

síntomas de Joan han ido apareciendo lentamente, a lo período de tiempo tan largo?

erfil de lípidos de Joan confirma que están elevados el tal, las lipoproteínas de baja densidad y los triglicé-

rpretación

uiente responde a las preguntas formuladas en el apar- erés». Para repasar este material, acuda a las páginas que uación.

s hormonas que secreta el sistema endocrino producen bólicos generalizados. Todos los síntomas de Joan guar- con su metabolismo celular general y su consumo de 513-515).

s foliculares de la glándula tiroides almacenan tiroxina otironina (T_3) (pp. 513). La liberación de estas hormo- irá lentamente conforme vaya empeorando el estado de se debe el desarrollo tan lento de sus síntomas.

lípidos de Joan (colesterol total, lipoproteínas de baja riglicéridos elevados) se debe a un descenso del índice y de la absorción de lípidos por los tejidos periféricos. as hormonas secretadas por el sistema endocrino influyen en diferentes aspectos del metabolismo del organismo (pp. 518-521).

Diagnóstico

Después de realizar una prueba más para determinar la presencia de anticuerpos antitiroideos y una RM (v. figura 19.12), el médico diagnostica que Joan padece un trastorno autoinmunitario: la **tiroiditis de Hashimoto.** Esta enfermedad se caracteriza por una destrucción muy lenta de las células tiroideas como consecuencia de diversos procesos inmunológicos mediados por células y anticuerpos. Este trastorno autoinmune reduce la síntesis y liberación de hormonas tiroideas. Sin embargo, los síntomas de este trastorno van apareciendo lentamente a lo largo del tiempo debido al «goteo» de la tiroxina y la triyodotironina formadas previamente, que los folículos tiroideos dañados por el proceso autoinmune van liberando lentamente.

La tiroiditis de Hashimoto es la causa más frecuente de hipotiroidismo entre las personas mayores de 6 años en EE. UU. En el resto del mundo, la causa más frecuente de hipotiroidismo es la deficiencia de yodo. Sin embargo, la tiroiditis de Hashimoto constituye la causa más frecuente de hipotiroidismo espontáneo en aquellas regiones del mundo con una ingesta dietética de yodo adecuada.

El médico de Joan se ha basado en sus conocimientos sobre el sistema endocrino y sus funciones para poder predecir los síntomas de los diferentes trastornos endocrinos. Por ejemplo, los síntomas de Joan (aunque en un primer momento pudiera parecer que no estaban relacionados entre sí) le indicaron que Joan no tenía un metabolismo basal normal. Las hormonas tiroideas aceleran el metabolismo basal e incrementan la producción de calor corporal, la perspiración y la frecuencia cardíaca. El metabolismo elevado, la hipertermia, la pérdida de peso, el nerviosismo, la perspiración excesiva y la frecuencia cardíaca acelerada o irregular son síntomas de hipertiroidismo. Por el contrario, el descenso del metabolismo basal, la disminución de la temperatura corporal, el aumento de peso, la letargia, la sequedad de piel y la disminución de la frecuencia cardíaca son los síntomas típicos del hipotiroidismo. No obstante, muchos de los signos y síntomas de los trastornos endocrinos no son tan concluyentes. Por ejemplo, la poliuria, o aumento de la excreción urinaria, puede deberse a una hiposecreción de ADH (diabetes insípida) o a la hiperglucosuria causada por la diabetes mellitus; un síntoma como la hipertensión arterial (aumento de la presión arterial) puede deberse a diferentes problemas cardiovasculares o endocrinos. En estos casos, muchas decisiones diagnósticas se basan en los análisis de sangre y otras pruebas, que pueden confirmar la presencia de un trastorno endocrino mediante la detección de concentraciones anormales de hormonas circulantes o de productos metabólicos derivados de la acción hormonal. Las pruebas de seguimiento permiten determinar si la causa primaria del problema radica en la glándula endocrina, en los mecanismos reguladores o en los órganos diana. A menudo, un patrón de resultados de diferentes pruebas puede conducirnos al diagnóstico. En la tabla 19.6 se ofrece una revisión clínica de las alteraciones endocrinas, y en la tabla 19.7 se recogen algunas pruebas anatómicas que pueden utilizarse para diagnosticar trastornos endocrinos como el de Joan. ■

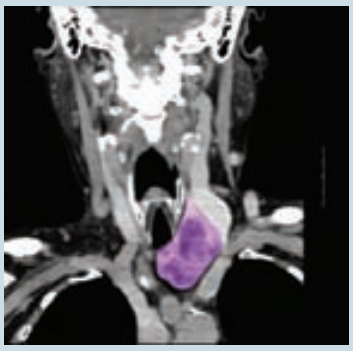


Figura 19.12 **RM de Joan**

Nota clínica

Traumatismos craneoencefálicos El *traumatismo craneoencefálico (TCE)* puede ser el resultado de un contacto violento entre la cabeza y otro objeto o una sacudida importante. Las lesiones craneales suponen más de la mitad de las muertes atribuibles a traumatismos. Cada año ocurren aproximadamente 1,5 millones de casos de TCE en EE. UU. Mueren aproximadamente 50.000 personas y otras 80.000 tienen discapacidades a largo plazo.

La *conmoción cerebral* puede acompañar a las lesiones craneales incluso menores. La conmoción puede incluir confusión transitoria con un estado mental anormal, pérdida temporal de conciencia y cierto grado de amnesia. Los médicos vigilan a los individuos con conmoción de forma bastante cercana y pueden hacer radiografías o TC del cráneo para excluir fracturas o hemorragia craneal. Las conmociones leves producen una interrupción breve de la conciencia y una pequeña pérdida de memoria. Las conmociones graves producen períodos prolongados de inconsciencia y anomalías de la función neurológica. Las conmociones graves se asocian típicamente con contusiones (magulladuras), hemorragias o laceraciones (desgarros) del tejido encefálico; las posibilidades de recuperación varían con las áreas afectadas. La lesión extensa de la formación reticular puede producir un estado permanente de inconsciencia, y la lesión del tronco del encéfalo inferior generalmente demuestra ser fatal.

Llevar casco durante actividades como andar en bicicleta, montar a caballo, patinar o ir en motocicleta, al hacer deportes de contacto como fútbol americano y jockey y batear o correr hacia la base en el béisbol, proporciona protección al cerebro. Los cinturones de seguridad dan una protección similar en el caso de un accidente de automóvil. Si se produce una conmoción se recomienda limitar las actividades, incluyendo un retraso en el retorno a la actividad que condujo a la lesión.

«Notas clínicas»

Las «Notas clínicas» distribuidas en medio del relato continuo de cada capítulo presentan enfermedades y su relación con el funcionamiento fisiológico normal, mientras que sus versiones mayores dentro de un recuadro abordan asuntos médicos o sociales de importancia. El número de «Notas clínicas» se ha ampliado en esta edición.

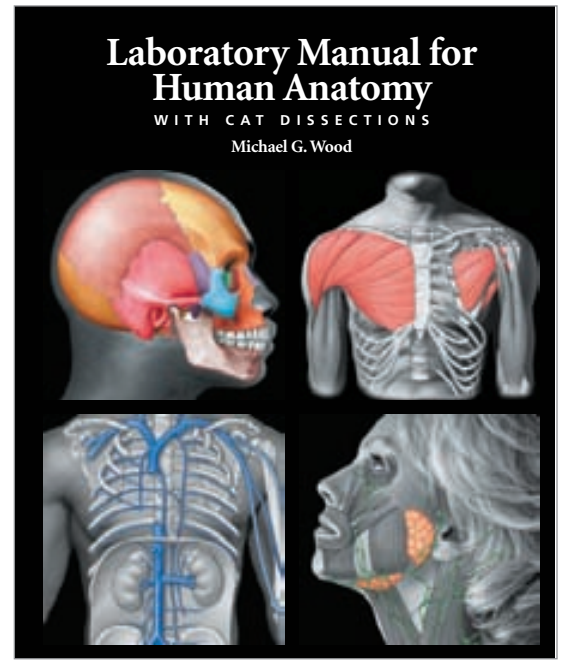
NUEVO Manual de laboratorio a todo color

Este nuevo manual de laboratorio a todo color combina las ilustraciones (modificadas, cuando es necesario) y las fotografías de ***Anatomía humana,* sexta edición** con el estilo de redacción fácil de seguir de Michael G. Wood y unas características que logran que la atención esté dirigida en todo momento al estudiante, lo que le convierte en el manual de laboratorio disponible más volcado en el aprendizaje de la anatomía humana.

Resulta ideal en conjunción con ***Anatomía humana,* sexta edición,** y también es un complemento perfecto de cualquier otro libro de texto sobre anatomía humana.

Entre sus rasgos clave figuran los siguientes:

- *Preguntas de verificación inmediata.*
- *Recuadros para efectuar conexiones.*
- *Apartados con correlaciones clínicas.*
- *Páginas con panorámicas regionales.*



Laboratory Manual for Human Anatomy with Cat Dissections
Michael G. Wood
© 2009 • 512 páginas
978-0-8053-7375-2 • 0-8053-7375-6

Suplementos para el profesor

Media Manager 2.1 (contiene un banco informático de exámenes)
978-0-321-51232-1 • 0-321-51232-4

Guía visual del profesor
978-0-321-51196-6 • 0-321-51196-4

Manual del profesor
978-0-321-51191-1 • 0-321-51191-3

Banco impreso de exámenes
978-0-321-51193-5 • 0-321-51193-X

Acetatos transparentes
978-0-321-51192-8 • 0-321-51192-1

Página web y programas para el seguimiento del curso

myA&P™
www.myaandp.com
Gateway to the myA&P Companion Website and the myA&P with CourseCompass course management program

WebCT
www.aw-bc.com/webct

Blackboard
www.aw-bc.com/blackboard

Suplementos para el estudiante

CD-ROM *Practice Anatomy Lab* 2.0
Para su entrega con el libro de texto sin coste adicional.

Actualización de los medios *Get Ready for A&P* de Lori K. Garrett
Para su entrega con el libro de texto sin coste adicional.

***Atlas de Anatomía Humana* de Frederic H. Martini**
Para su entrega con el libro de texto sin coste adicional.

***A&P Applications Manual* de Frederic H. Martini y Kathleen Welch**
Para su entrega con el libro de texto sin coste adicional.

Tarjeta de estudio Martini
978-0-321-53601-3 • 0-321-53601-0
Para su entrega con el libro de texto sin coste adicional.

Agradecimientos

Desearíamos expresar nuestro agradecimiento a los numerosos usuarios, revisores, personas entrevistadas y miembros de los diversos grupos de interés cuyos consejos, comentarios y sabiduría colectiva sirvieron para dotar a este texto de su forma final. Su pasión por el tema, su preocupación por la exactitud y el método de presentación, y su experiencia con estudiantes provistos de unas capacidades y una experiencia muy variadas, han hecho que el proceso de revisión sea interesante e instructivo.

Revisores

FrankB aker, *Golden West College*
GillianB ice, *Michigan State University*
WilliamB rothers, *San Diego Mesa College*
JettC hinn, *College of Marin*
CynthiaH erbrandson, *Kellogg Community College*
KellyJ ohnson, *University of Kansas*
PhilipO sborne, *San Diego City College*
HeatherR oberts, *SierraC ollege*
Dean J. Scherer, *Oklahoma State University*
Judith L. Schotland, *Boston University*
ElenaS tark, *SantaM onicaC ollege*
Edward Williams, *MinnesotaS tateU niversity*
Sally Wilson, *MarshalltownC ommunityC ollege*
David Woodman, *Universityo fN ebraska*
Scott D. Zimmerman, *MissouriS tateU niversity*
John M. Zook, *Ohio University*
Joan Ellen Zuckerman, *Long Beach City College*

Revisores técnicos

Wendy Lackey, *MichiganS tateU niversity*
Alan D. Magid, *DukeU niversityS choolo fM edicine*
Larry A.R eichard, *MetropolitanC ommunityC ollege*
MarkS eifert, *Indiana University-Purdue University Indianapolis*
Lance Wilson, *TritonC ollege*
MicheleZ immerman, *IndianaU niversitySo utheast*

No hay palabras para expresar lo ejemplar y valioso que resulta el talento creativo aportado a este proyecto por nuestro equipo artístico, William Ober, M.D. y Claire Garrison, R.N. Bill y Claire trabajaron incansablemente codo a codo con nosotros, dando unidad de visión al libro a la vez que hacían clara y atractiva cada ilustración. Su espléndido programa de dibujo se ve realzado por las incomparables fotografías de huesos y cadáveres tomadas por Ralph T. Hutchings, antiguo miembro de *The Royal College of Surgeons of England* y coautor del gran éxito *Color Atlas of Human Anatomy* de McMinn. Además, el Dr. Pietro Motta, catedrático de anatomía en la *Universitá della Sapienza* de Roma aportó varias imágenes magníficas de MEB para su uso en el texto.

Cabe un comentario de agradecimiento especial hacia Delia Hamidzada, P.A. y Elizabeth Wilson, R.N., por la ayuda prestada a Mike Timmons en la organización de ciertas partes del original y en su revisión.

Asimismo, hemos contraído una inmensa deuda con el personal de Benjamin Cummings, cuyos afanes resultaron vitales para la creación de esta edición. Dirigimos una nota de agradecimiento y gratitud especial hacia el equipo editorial de Benjamin Cummings, sobre todo a Leslie Berriman, directora ejecutiva, por su dedicación al éxito de este proyecto; a Katy German, directora del proyecto, por su control sobre el texto y sus componentes; y a Robin Pille, director adjunto, y Kelly Reed, ayudante editorial, por su trabajo con el material complementario. Expresamos nuestro agradecimiento a Sarah Young-Dualan, directora de recursos tecnológicos, Aimee Pavy, directora de recursos tecnológicos, y Suzanne Rassmussen, directora adjunta de recursos tecnológicos, por su labor con todos los programas técnicos que complementan *Anatomía humana.* También a Caroline Ayres, supervisora de producción, por la mano firme con la que llevó el control de este complejo texto; y Norine Strang, Angie Hamilton, Mark Wyngarden y Laura Davis, por sus cometidos en la producción del texto. Dejamos constancia de nuestro reconocimiento a las fantásticas aportaciones artísticas y de diseño de Mark Ong, jefe de diseño, y Blake Kim, creador artístico. Estamos muy agradecidos a Linda Davis, presidenta, Frank Ruggirello, director editorial, y Lauren Fogel, directora de desarrollo de recursos tecnológicos, por su permanente entusiasmo y apoyo a este proyecto. Apreciamos la colaboración de Gordon Lee, director comercial, que sigue atento al pulso del mercado y nos ayuda a satisfacer las necesidades de nuestros usuarios, así como la de los extraordinarios e infatigables agentes comerciales de Pearson Science.

También agradecemos que las contribuciones de todas las personas mencionadas hayan permitido que este texto recibiera los siguientes premios: *The Association of Medical Illustrators Award, The Text and Academic Authors Award,* el *New York International Book Fair Award* y el *35th Annual Bookbuilders West Book Show.*

Por último, querríamos agradecer a nuestras familias su cariño y su apoyo durante el proceso de revisión. Jamás podríamos haberlo conseguido sin la ayuda de nuestras esposas –Kitty, Judy y Mary– y la paciencia de nuestros hijos –P.K., Molly, Kelly, Patrick, Katie, Ryan, Molly y Steven–.

Ningún equipo de sólo tres personas podría pensar nunca elaborar un libro de texto perfecto de este alcance y complejidad. Cualquier error o descuido depende estrictamente de nosotros, más que de los revisores, artistas o editores. En un afán por mejorar las futuras ediciones, pedimos que los lectores que dispongan de cualquier información, sugerencia o comentario pertinente acerca de la organización o el contenido de este libro de texto nos envíen sus observaciones directamente, a la dirección de correo electrónico que aparece más abajo, o a la atención del editor, *Applied Sciences,* Benjamin Cummings, 1301 Sansome Street, San Francisco, CA 94111.

Frederic H. Martini, Haiku, HI
Michael J. Timmons, Orland Park, IL
Robert B. Tallitsch, Rock Island, IL
(RobertTallitsch@augustana.edu)

Índice abreviado

1
Introducción a la anatomía 1

2
La célula 26

3
Tejidos y primeras etapas del desarrollo 51

4
Sistema tegumentario 88

5 6 7 8
Sistema óseo 111

5 Tejido óseo y estructura del esqueleto 111
6 Cabeza y tronco 133
7 Extremidades 174
8 Articulaciones 205

9 10 11
Sistema muscular 237

9 Tejido muscular estriado y organización muscular 237
10 Musculatura de la cabeza y del tronco 261
11 Musculatura de las extremidades 284

12
Anatomía de superficie y por cortes transversales 327

13 14 15 16 17 18
Sistema nervioso 340

13 Tejido nervioso 340
14 Médula espinal y nervios raquídeos 361
15 Encéfalo y nervios craneales 386
16 Vías y funciones superiores 431
17 División autónoma 451
18 Sensibilidad general y sentidos especiales 470

19
Sistema endocrino 507

20 21 22
Aparato cardiovascular 530

19 La sangre 530
20 El corazón 547
21 Vasos y circulación 571

23
Sistema linfático 608

24
Aparato respiratorio 629

25
Aparato digestivo 655

26
Aparato urinario 693

27 28
Aparato reproductor 714

27 Aparato reproductor 714
28 Embriología y desarrollo humano 747

Índice

1 Fundamentos: Introducción a la anatomía 1

Anatomía microscópica 2

Anatomía macroscópica 3

Otras perspectivas de la anatomía 3

Niveles de organización 4

Introducción a los sistemas orgánicos 6

Lenguaje anatómico 13

Anatomía de superficie **14**

Referencias anatómicas 14

Regiones anatómicas 15

Direcciones anatómicas 16

Anatomía seccional **16**

Planos y cortes (secciones) 17

Cavidades corporales 18

NOTAS CLÍNICAS

Enfermedad, patología y diagnóstico 4

Diagnóstico de las enfermedades 6

Visible Human Project **18**

Anatomía por cortes y tecnología clínica 21

TÉRMINOS CLÍNICOS 23

2 Fundamentos: La célula 26

Estudio de las células 27

Microscopia óptica **27**

Microscopia electrónica **28**

Anatomía celular 29

Membrana plasmática **31**

Permeabilidad de la membrana: procesos pasivos 32

Permeabilidad de la membrana: procesos activos 32

Prolongaciones de la membrana plasmática: microvellosidades 35

Citoplasma **35**

Citosol 36

Orgánulos 36

Orgánulos sin membrana **36**

Citoesqueleto 36

Centríolos, cilios y flagelos 36

Ribosomas 38

Orgánulos con membrana **38**

Mitocondrias 38

Núcleo 38

Retículo endoplásmico 40

Aparato de Golgi 41

Lisosomas 42

Peroxisomas 42

Flujo de membrana **43**

Unión intercelular 43

Ciclo vital de la célula 45

Interfase **45**

Replicación del ADN 45

Mitosis **46**

NOTA CLÍNICA

División celular y cáncer 47

TÉRMINOS CLÍNICOS 48

3 Fundamentos: Tejidos y primeras etapas del desarrollo 51

Tejido epitelial 52

Funciones del tejido epitelial **53**

Especializaciones de las células epiteliales **53**

Mantenimiento de la integridad del epitelio **54**

Conexiones intercelulares 54

Fijación a la lámina basal 54

Mantenimiento y renovación epitelial 54

Clasificación de los epitelios **55**

Epitelios pavimentosos 55

Epitelios cúbicos 56

Epitelios cilíndricos 57

Epitelios seudoestratificados y de transición 57

Epitelios glandulares **58**

Tipos de secreción 59

Estructura de las glándulas 59

Modos de secreción 60

Tejidos conjuntivos 61

Clasificación de los tejidos conjuntivos **62**

Tejido conjuntivo propiamente dicho **62**

Células del tejido conjuntivo propiamente dicho 62

Fibras del tejido conjuntivo 63

Sustancia fundamental 64

Tejidos embrionarios 64

Tejidos conjuntivos laxos 64

Tejidos conjuntivos densos 66

Tejidos conjuntivos líquidos **68**

Tejidos conjuntivos de sostén 68
Cartílago 69
Hueso 71

Membranas 72
Mucosas 72
Serosas 72
Membrana cutánea 74
Membranas sinoviales 74

El soporte de tejido conjuntivo del cuerpo 74

Tejido muscular 75
Tejido muscular estriado 75
Tejido muscular cardíaco 75
Tejido muscular liso 75

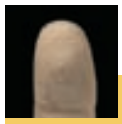
Tejido nervioso 75

Tejidos, nutrición y envejecimiento 77

RESÚMENES DE EMBRIOLOGÍA
Formación de los tejidos 79
Desarrollo de los epitelios 80
Orígenes de los tejidos conjuntivos 81
Desarrollo de los sistemas orgánicos 82

NOTAS CLÍNICAS
Liposucción 66
Cartílagos y lesiones de rodilla 69
Problemas con las serosas 73
Formación y crecimiento de los tumores 78

TÉRMINOS CLÍNICOS 84



4 Sistema tegumentario 88

Estructura y función de los tegumentos 90

Epidermis 90
Capas de la epidermis 91
Estrato germinativo 91
Estrato espinoso 91
Estrato granuloso 91
Estrato lúcido 92
Estrato córneo 92
Piel gruesa y piel fina 93
Crestas epidérmicas 93
Color de la piel 93

Dermis 95
Organización de la dermis 95
Arrugas, estrías y líneas de incisión 95
Otros componentes de la dermis 96
Irrigación de la piel 97
Inervación de la piel 97

Hipodermis 97

Anejos cutáneos 98
Folículos pilosos y pelo 98
Producción del pelo 98
Estructura del folículo 98
Funciones del pelo 98
Tipos de pelos 98
Color del pelo 100
Crecimiento y sustitución del pelo 100
Glándulas de la piel 100
Glándulas sebáceas 100
Glándulas sudoríparas 102
Control de las secreciones glandulares 103
Otras glándulas tegumentarias 103
Uñas 103

Control local del funcionamiento tegumentario 105

Envejecimiento y sistema tegumentario 106

NOTAS CLÍNICAS
Exploración de la piel 89
Trastornos de la producción de queratina 92
Administración transdérmica de fármacos 93
Cánceres de piel 96
Acné y dermatitis seborreica 102
Reparación de las lesiones cutáneas 104

CASO CLÍNICO
Ansiedad en el laboratorio de anatomía 106

TÉRMINOS CLÍNICOS 108

5 Sistema óseo: Tejido óseo y estructura del esqueleto 111

Estructura del hueso 112
Organización histológica del hueso maduro 112
Matriz del hueso 112
Células del hueso maduro 112
Hueso compacto y esponjoso 113
Diferencias estructurales entre el hueso compacto y el esponjoso 113
Diferencias funcionales entre el hueso compacto y el esponjoso 115
Periostio y endostio 116

Desarrollo y crecimiento del hueso 117
Osificación intramembranosa 117
Osificación endocondral 118
Crecimiento en longitud de un hueso en desarrollo 119
Crecimiento en el diámetro de un hueso en desarrollo 120
Formación del riego sanguíneo y linfático 123
Inervación del hueso 123
Factores que regulan el crecimiento del hueso 123

Remodelación, reparación y mantenimiento óseos 124
Remodelación del hueso 124
Lesión y reparación 125
Envejecimiento y sistema óseo 125

Anatomía de los elementos del esqueleto 126
Clasificación de los huesos 126
Marcas óseas (rasgos de superficie) 127

Integración con otros sistemas 130

NOTAS CLÍNICAS
Raquitismo 117
Formación heterotópica de hueso 118
Trastornos congénitos del esqueleto 123
Osteoporosis y alteraciones del esqueleto relacionadas con la edad 126
Clasificación de las fracturas 129

TÉRMINOS CLÍNICOS 130

6 Sistemaó seo: Cabezay t ronco 133

Cráneo y otros huesos asociados 135
Huesos del cráneo **142**
Hueso occipital 142
Huesos parietales 142
Hueso frontal 142
Huesos temporales 142
Esfenoides 146
Etmoides 147
Fosas craneales 148
Huesos de la cara **148**
Maxilares 148
Huesos palatinos 150
Huesos nasales 150
Cornetes nasales inferiores 150
Huesos cigomáticos 151
Huesos lagrimales 151
Vómer 151
Mandíbula 151
Complejo orbitario y macizo nasal **151**
Complejo orbitario 151
Macizo nasal 152
Hueso hioides **154**
Cráneo de los recién nacidos, los niños y los adultos 158
Columna vertebral 158
Curvaturas vertebrales **159**
Anatomía vertebral **161**
Cuerpo de la vértebra 161
Arco vertebral 161
Apófisis articulares 162
Articulación vertebral 162
Regiones vertebrales **162**
Vértebras cervicales 163
Vértebras torácicas 164
Vértebras lumbares 164
Sacro 166
Cóccix 168
Jaula torácica 168
Costillas **168**
Esternón **170**

NOTAS CLÍNICAS
Problemas con los senos 154
Problemas de crecimiento del cráneo 155
Cifosis, lordosis y escoliosis 161
Espina bífida 167
Fisuras costales 170
La jaula torácica y las intervenciones quirúrgicas 170

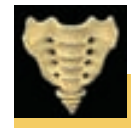
TÉRMINOS CLÍNICOS 171

7 Sistemaós eo: Extremidades 174

Cintura escapular y extremidad superior 176
Cintura escapular **176**
Clavícula 176
Escápula 176
Extremidad superior **179**
Húmero 179
Cúbito 179
Radio 181
Huesos del carpo 184
Huesos metacarpianos y falanges 184
Cintura pélvica y extremidad inferior 186
Cintura pélvica **186**
Huesos coxales 186
Pelvis 186
Extremidad inferior **193**
Fémur 193
Rótula 196
Tibia 196
Peroné 196
Huesos del tarso 198
Huesos metatarsianos y falanges 199
Variabilidad individual en el sistema óseo 200

NOTAS CLÍNICAS
Fracturas del escafoides 184
Problemas con el tobillo y el pie 201

TÉRMINOS CLÍNICOS 202

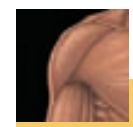


8 Sistemaó seo: Articulaciones 205

Clasificación de las articulaciones 206
Sinartrosis (articulaciones fijas) **206**
Anfiartrosis (articulaciones con escaso movimiento) **206**
Diartrosis (articulaciones de movimiento libre) **206**
Líquido sinovial 207
Estructuras auxiliares 208
Resistencia frente a movilidad 208

Forma y función de las articulaciones 208
Descripción de la movilidad dinámica 209
Tipos de movimientos 209
Movimiento lineal (deslizamiento) 209
Movimiento angular 209
Rotación 211
Movimientos especiales 211
Clasificación estructural de las diartrosis 212
Articulaciones más representativas 213
Articulación temporomandibular 214
Articulaciones intervertebrales 214
Discos intervertebrales 214
Ligamentos intervertebrales 215
Movimientos de las vértebras 215
Articulación esternoclavicular 215
Articulación del hombro 217
Ligamentos 217
Músculos estriados y tendones 217
Bolsas 219
Articulación del codo 219
Articulaciones radiocubitales 219
Articulaciones de la muñeca 219
Estabilidad de la muñeca 219
Articulaciones de la mano 221
Articulación de la cadera 223
Cápsula articular 223
Estabilización de la cadera 223
Articulación de la rodilla 225
Cápsula articular 225
Ligamentos de refuerzo 225
Bloqueo de rodilla 225
Articulaciones del tobillo y del pie 228
Articulación del tobillo 228
Articulaciones del pie 229
Envejecimiento y articulaciones 229
Huesos y músculos 231
NOTAS CLÍNICAS
Luxación de una diartrosis 208
Problemas con los discos intervertebrales 216
Lesiones del hombro 219
Lesiones de la rodilla 228
CASO CLÍNICO
El camino hacia Daytona 231
TÉRMINOS CLÍNICOS 233

9
Sistema muscular: Tejido muscular estriado y organización muscular 237
Funciones del músculo estriado 238
Anatomía de los músculos estriados 238
Anatomía macroscópica 238
Tejido conjuntivo del músculo 238
Nervios y vasos sanguíneos 239
Microanatomía de las fibras musculares estriadas 240
Miofibrillas y miofilamentos 243
Organización del sarcómero 243
Contracción muscular 245
Teoría del filamento deslizante 245
Inicio de una contracción 246
Final de una contracción 246
Control nervioso de la contracción de las fibras musculares 246
Contracción muscular: resumen 246
Unidades motoras y control muscular 248
Tono muscular 249
Hipertrofia muscular 249
Atrofia muscular 249
Tipos de fibras musculares estriadas 249
Distribución de las fibras rápidas, lentas e intermedias 250
Organización de las fibras musculares estriadas 251
Músculos paralelos 251
Músculos convergentes 251
Músculos penniformes 252
Músculos circulares 252
Terminología de los músculos 253
Orígenes e inserciones 253
Acciones 253
Nombres de los músculos estriados 254
Palancas y poleas: un diseño de sistemas para el movimiento 254
Clases de palancas 254
Poleas anatómicas 255
Envejecimiento y sistema muscular 256
NOTAS CLÍNICAS
Fibromialgia y síndrome de fatiga crónica 240
Rigidez cadavérica 248
Mialgias diferidas 251
Triquinosis 257
TÉRMINOS CLÍNICOS 257



10
Sistemam uscular: Musculatura de la cabeza y del tronco 261
Musculatura de la cabeza y del tronco 262
Músculos de la cabeza y del cuello 263
Músculos de la expresión facial 264
Músculos extraoculares 266
Músculos de la masticación 268
Músculos de la lengua 269
Músculos de la faringe 269
Músculos anteriores del cuello 271
Músculos de la columna vertebral 273
Capa superficial de los músculos intrínsecos de la espalda 273

Capa intermedia de los músculos intrínsecos de la espalda 274
Capa profunda de los músculos intrínsecos de la espalda 274
Flexores de la columna 274
Músculos oblicuos y rectos **276**
Diafragma 279
Músculos del periné y del diafragma pélvico **279**

NOTAS CLÍNICAS
¿Hay algo nuevo? **269**
Hernias **279**

TÉRMINOS CLÍNICOS **282**

11 Sistema muscular: Musculatura de las extremidades **284**

Factores que influyen sobre la función de los músculos de las extremidades **285**
Músculos de la cintura escapular y de las extremidades superiores **285**
Músculos que colocan la cintura escapular en posición **286**
Músculos que mueven el brazo **288**
Músculos que mueven el antebrazo y la mano **293**
Músculos que mueven la mano y los dedos **295**
Músculos extrínsecos de la mano 295
Músculos intrínsecos de la mano 296
Músculos de la cintura pélvica y de las extremidades inferiores **302**
Músculos que mueven el muslo **302**
Músculos que mueven la pierna **307**
Músculos que mueven el pie y los dedos **309**
Músculos extrínsecos del pie 309
Músculos intrínsecos del pie 311
Fascia, capas musculares y compartimentos **318**
Compartimentos de la extremidad superior **318**
Compartimentos de la extremidad inferior **321**

NOTAS CLÍNICAS
Traumatismos deportivos **292**
Síndrome del túnel carpiano **297**
Inyecciones intramusculares **305**
Síndrome compartimental **319**

CASO CLÍNICO
La cadera de la abuela **323**

TÉRMINOS CLÍNICOS **324**

12 Anatomía de superficie y por cortes transversales **327**

Planteamiento regional de la anatomía de superficie **328**
Cabeza y cuello **328**
Tórax **330**
Abdomen **331**
Extremidad superior **332**
Brazo, antebrazo y muñeca **333**
Pelvis y extremidad inferior **334**
Pierna y pie **335**
Anatomía por cortes transversales **336**
Nivel del quiasma óptico **336**
Corte transversal de la cabeza a nivel de C_2 **337**
Corte transversal a nivel de la vértebra T_2 **337**
Corte transversal a nivel de la vértebra T_8 **338**
Corte transversal a nivel de la vértebra T_{10} **338**
Corte transversal a nivel de la vértebra T_{12} **339**
Corte transversal a nivel de la vértebra L_5 **339**

13 Sistema nervioso: Tejido nervioso **340**

Visión general del sistema nervioso **341**
Organización celular del tejido nervioso **342**
Neuroglia **344**
Neuroglia del SNC 344
Neuroglia del SNP 346
Neuronas **349**
Clasificación de la neurona 350
Regeneración neural **352**
Impulso nervioso **353**
Comunicación sináptica **354**
Sinapsis vesiculares **354**
Sinapsis no vesiculares **355**
Organización y procesamiento neuronal **355**
Organización anatómica del sistema nervioso **356**

NOTAS CLÍNICAS
Los síntomas de los trastornos neurológicos **343**
Trastornos desmielinizantes **352**

TÉRMINOS CLÍNICOS **357**

14 Sistema nervioso: Médula espinal y nervios raquídeos **361**

Anatomía macroscópica de la médula espinal **362**
Meninges espinales **362**
Duramadre **362**
Aracnoides **365**
Piamadre **365**

Anatomía seccional de la médula espinal 367
Organización de la sustancia gris 367
Organización de la sustancia blanca 367

Nervios raquídeos 369
Distribución periférica de los nervios raquídeos 369
Plexos nerviosos 370
Plexo cervical 372
Plexo braquial 373
Plexos lumbar y sacro 376

Reflejos 376
Clasificación de los reflejos 382
Reflejos medulares 382
Centros superiores e integración de los reflejos 382

NOTAS CLÍNICAS
Punciones espinales, mielografía, anestesia medular y anestesia caudal 366
Lesiones de la médula espinal 367
Neuropatías periféricas 377
Trastornos de la médula espinal y los nervios raquídeos 380

TÉRMINOS CLÍNICOS 383

15 Sistema nervioso: Encéfalo y nervios craneales 386

Introducción a la organización del encéfalo 387
Embriología del encéfalo 387
Regiones y referencias principales 387
Cerebro 387
Diencéfalo 387
Mesencéfalo 389
Protuberancia y cerebelo 389
Bulbo raquídeo 389
Organización de la sustancia gris y la sustancia blanca 389
Ventrículos del encéfalo 389

Protección y soporte del encéfalo 389
Meninges craneales 389
Duramadre 391
Aracnoides 391
Piamadre 391
Barrera hematoencefálica 391
Líquido cefalorraquídeo 394
Formación del LCR 394
Circulación del LCR 394
Irrigación del encéfalo 395

Cerebro 396
Hemisferios cerebrales 396
Lóbulos cerebrales 396
Áreas motoras y sensitivas de la corteza cerebral 398
Áreas de asociación 400
Centros de integración 400
Sustancia blanca central 400
Núcleos basales 401
Funciones de los núcleos basales 401
Sistema límbico 401

Diencéfalo 405
Epitálamo 405
Tálamo 405
Funciones de los núcleos talámicos 406
Hipotálamo 406
Funciones del hipotálamo 406

Mesencéfalo 410

Protuberancia 410

Cerebelo 412

Bulbo raquídeo 414

Nervios craneales 416
Nervio olfativo (N I) 418
Nervio óptico (N II) 419
Nervio oculomotor (nervio motor ocular común) (N III) 420
Nervio troclear (nervio patético) (N IV) 420
Nervio trigémino (N V) 421
Nervio abducens (nervio motor ocular externo) (N VI) 422
Nervio facial (N VII) 422
Nervio vestibulococlear (nervio estatoacústico) (N VIII) 423
Nervio glosofaríngeo (N IX) 424
Nervio vago (N X) 424
Nervio accesorio (N XI) 425
Nervio hipogloso (N XII) 426
Resumen de las ramas y funciones de los nervios craneales 426

NOTAS CLÍNICAS
Traumatismos craneoencefálicos 391
Hemorragias epidurales y subdurales 394
Hidrocefalia 398
Sustancia negra y enfermedad de Parkinson 410
Disfunción cerebelosa 414
Tic doloroso 422
Parálisis de Bell 423
Reflejos cerebrales 427

TÉRMINOS CLÍNICOS 427

16 Sistema nervioso: Vías y funciones superiores 431

Vías motoras y sensitivas 432
Vías sensitivas 432
Vía de la columna posterior 432
Vía espinotalámica 435
Vía espinocerebelosa 435
Vías motoras 436
Vía corticoespinal 437

Vías mediales y laterales 438
Ganglios basales y cerebelo 440
Niveles de control motor somático **441**
Funciones superiores 443
Regiones de integración de la corteza cerebral **443**
El área interpretativa general 443
Centro del habla 444
Corteza prefrontal 444
Áreas de Brodmann y función cortical 444
Especialización hemisférica **445**
Memoria **445**
Nivel de conciencia: el sistema activador reticular **446**
Envejecimiento y sistema nervioso 447
NOTAS CLÍNICAS
Parálisis cerebral 438
Esclerosis lateral amiotrófica 440
Anencefalia 441
Lesión de los centros de integración 444
Síndrome de desconexión 445
Niveles de conciencia 446
Enfermedad de Alzheimer 447
Enfermedades cerebrovasculares 448
TÉRMINOS CLÍNICOS 448

17 Sistema nervioso: División autónoma 451

Comparación del sistema nervioso somático y autónomo 452
Subdivisiones del SNA **452**
División simpática (toracolumbar) 452
División parasimpática (craneosacra) 452
Patrones de inervación 452
División simpática 453
Ganglios de la cadena simpática **454**
Funciones de la cadena simpática 454
Anatomía de la cadena simpática 454
Ganglios colaterales **456**
Funciones de los ganglios colaterales 456
Anatomía de los ganglios colaterales 456
Médulas suprarrenales **458**
Efectos de la estimulación simpática **458**
Activación simpática y liberación de neurotransmisores **458**
Receptores del plasmalema y función simpática **459**
Receptores alfa y beta 459
Estimulación simpática y ACh 459
Resumen de la división simpática **459**
División parasimpática 460
Organización y anatomía de la división parasimpática **460**
Funciones generales de la división parasimpática **462**
Activación parasimpática y liberación de neurotransmisores **462**
Receptores del plasmalema y respuestas 462
Resumen de la división parasimpática **462**
Relaciones entre las divisiones simpática y parasimpática 463
Anatomía de la inervación doble **463**
Comparación de las divisiones simpática y parasimpática **464**
Integración y control de las funciones autónomas 464
Reflejos viscerales **464**
Niveles superiores de control autónomo **465**
NOTAS CLÍNICAS
Hipersensibilidad y función simpática 456
Neuropatía diabética y SNA 465
TÉRMINOS CLÍNICOS 467

18 Sistema nervioso: Sensibilidad general y sentidos especiales 470

Receptores 471
Interpretación de la información sensitiva **471**
Procesamiento central y adaptación **471**
Limitaciones sensitivas **472**
Sensibilidad general 472
Nocirreceptores **472**
Termorreceptores **473**
Mecanorreceptores **473**
Receptores táctiles 473
Barorreceptores 475
Propiorreceptores 475
Quimiorreceptores **475**
Capacidad olfativa (olfato) 477
Receptores olfativos **477**
Vías olfativas **477**
Discriminación olfativa **478**
Capacidad gustativa (gusto) 478
Receptores gustativos **478**
Vías gustativas **479**
Discriminación gustativa **479**
Equilibrio y audición 480
Oído externo **480**
Oído medio **480**
Huesecillos del oído 482
Oído interno **482**
Complejo vestibular y equilibrio 483
Audición **486**

Cóclea 486
Detección del sonido 490
Vías auditivas **490**
Visión 491
Estructuras accesorias del ojo **491**
Párpados 491
Aparato lagrimal 492
El ojo **493**
Túnica fibrosa 493
Túnica vascular 495
Túnica nerviosa 496
Cámaras del ojo 498
Cristalino 499
Vías visuales **499**
Integración cortical 500
Tronco del encéfalo y procesamiento visual 500

NOTAS CLÍNICAS
Dolor agudo y crónico 473
Otitis media y mastoiditis 482
Nistagmo 485
Vértigo, cinetosis y enfermedad de Ménière 487
Pérdida auditiva 490
Conjuntivitis 496
Trasplantes corneales 498
Glaucoma 499
Cataratas 499

CASO CLÍNICO
¿Qué dijo usted, doctor? 502

TÉRMINOS CLÍNICOS 503

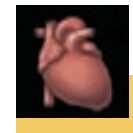
19 Sistema endocrino 507

Visión general del sistema endocrino 508
Hipotálamo y regulación endocrina **509**
Hipófisis 510
Neurohipófisis **510**
Adenohipófisis **510**
Sistema porta hipofisario 512
Hormonas de la adenohipófisis 512
Glándula tiroides 513
Folículos y hormonas tiroideos **513**
Tirocitos C de la glándula tiroides **515**
Glándulas paratiroides 515
Timo 515
Glándulas suprarrenales 516
Corteza de la glándula suprarrenal **516**
Zona glomerulosa 516
Zona fasciculada 517
Zona reticular 517
Médula de la glándula suprarrenal **518**
Funciones endocrinas de los riñones y el corazón 518
El páncreas y otros tejidos endocrinos del aparato digestivo 518
Páncreas 518
Tejidos endocrinos del aparato reproductor 520
Testículos **520**
Ovarios **521**
Glándula pineal 521
Hormonas y envejecimiento 523

NOTAS CLÍNICAS
Diabetes insípida 512
Diabetes mellitus 520
Endocrinopatías 522

CASO CLÍNICO
¿Por qué ya no puedo mantener el ritmo? 524

TÉRMINOS CLÍNICOS 526



20 Aparato cardiovascular: La sangre 530

Funciones de la sangre 531
Composición de la sangre 531
Plasma **533**
Diferencias entre el plasma y el líquido intersticial. 533
Proteínas plasmáticas 533
Elementos formes 534
Glóbulos rojos (GR) **534**
Estructura de los GR 534
Ciclo vital y circulación de los GR 535
GR y hemoglobina 536
Grupos sanguíneos 536
Leucocitos **538**
Leucocitos granulares 539
Leucocitos agranulares 539
Plaquetas **540**
Hematopoyesis 541
Eritropoyesis **543**
Estadios en la maduración de los GR 543
Leucopoyesis **543**

NOTAS CLÍNICAS
Transfusiones 531
Expansores plasmáticos 533
Anemia y policitemia 535
Aumentar los niveles de hemoglobina 536
Anemia drepanocítica 537
Hemofilia 541
Sangre sintética 543
Dopaje con sangre 544

TÉRMINOS CLÍNICOS 544

21 Aparato cardiovascular: El corazón 547

Visión general del aparato cardiovascular 548

Pericardio 548

Estructura de la pared cardíaca 550

Tejido muscular cardíaco 550

Discos intercalares 550

Esqueleto fibroso 550

Orientación y anatomía superficial del corazón 552

Anatomía interna y organización del corazón 554

Aurícula derecha 554

Ventrículo derecho 554

Aurícula izquierda 556

Ventrículo izquierdo 556

Diferencias estructurales entre los ventrículos izquierdo y derecho 556

Estructura y funcionamiento de las válvulas cardíacas 556

Funcionamiento valvular durante el ciclo cardíaco 556

Vasos sanguíneos coronarios 558

Arteria coronaria derecha 558

Arteria coronaria izquierda 558

Venas cardíacas 558

Ciclo cardíaco 561

Coordinación de las contracciones cardíacas 561

Nódulos senoauricular y auriculoventricular 562

Sistema de conducción del corazón 562

Electrocardiograma (ECG) 566

Control autónomo de la frecuencia cardíaca 566

NOTAS CLÍNICAS

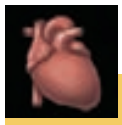
Infección e inflamación del corazón 554

Prolapso de la válvula mitral 558

Enfermedad arterial coronaria 560

Arritmias cardíacas, marcapasos artificiales e infartos de miocardio 564

TÉRMINOS CLÍNICOS 568



22 Aparato cardiovascular: Vasos y circulación 571

Organización histológica de los vasos sanguíneos 572

Distinción entre arterias y venas 573

Arterias 573

Arterias elásticas 574

Arterias musculares 575

Arteriolas 575

Capilares 575

Lechos capilares 575

Venas 577

Vénulas 577

Venas de tamaño medio 577

Venas grandes 577

Válvulas venosas 578

Distribución de la sangre 578

Distribución de los vasos sanguíneos 579

Circuito pulmonar 579

Circuito sistémico 579

Arterias sistémicas 579

Venas sistémicas 592

Cambios cardiovasculares en el nacimiento 599

Envejecimiento y aparato cardiovascular 603

NOTAS CLÍNICAS

Arteriosclerosis 574

Problemas cardiovasculares congénitos 602

CASO CLÍNICO

El cartero con síntomas 603

TÉRMINOS CLÍNICOS 605

23 Sistema linfático 608

Revisión del sistema linfático 609

Funciones del sistema linfático 609

Estructura de los vasos linfáticos 610

Capilares linfáticos 610

Válvulas de los vasos linfáticos 611

Principales vasos colectores linfáticos 612

Conducto torácico 612

Conducto linfático derecho 613

Linfocitos 613

Tipos de linfocitos 613

Linfocitos T 613

Linfocitos B 613

Linfocitos T citotóxicos 614

Linfocitos y respuesta inmunitaria 614

Distribución y vida media de los linfocitos 615

Linfopoyesis: producción de linfocitos 615

Tejidos linfáticos 616

Órganos linfáticos 617

Ganglios linfáticos 617

Distribución de los tejidos linfáticos y los ganglios linfáticos 620

Timo 622

Bazo 623

Superficies del bazo 623

Histología del bazo 624

Envejecimiento y sistema linfático 625

NOTAS CLÍNICAS
Nódulos linfáticos infectados 617
Linfadenopatía y cáncer metastástico 622
Linfomas 622

CASO CLÍNICO
Siento como si me ahogara. ¿Qué me sucede? 625

TÉRMINOS CLÍNICOS 626

24 Aparato respiratorio 629

Revisión del aparato respiratorio 630
Funciones del aparato respiratorio **631**
Epitelio respiratorio **631**

Vías respiratorias superiores 632
Nariz y cavidad nasal **632**
Faringe **634**
Nasofaringe 634
Orofaringe 634
Laringofaringe 634

Vías respiratorias inferiores 634
Laringe **634**
Cartílagos de la laringe 634
Ligamentos laríngeos 636
Musculatura laríngea 636

Tráquea 637

Bronquios principales 637

Pulmones 638
Lóbulos pulmonares **638**
Superficies pulmonares **638**
Bronquios pulmonares **640**
Ramas del bronquio principal derecho 640
Ramas del bronquio principal izquierdo 640
Ramas de los bronquios secundarios 640
Segmentos broncopulmonares 640
Bronquíolos **640**
Conductos alveolares y alvéolos **643**
Alvéolo y membrana respiratoria 646
Vascularización de los pulmones **646**

Cavidades y membranas pleurales 646

Músculos respiratorios y ventilación pulmonar 647
Músculos respiratorios **647**
Movimientos respiratorios 648
Cambios en la respiración tras el nacimiento **649**
Centros respiratorios del encéfalo **649**

Envejecimiento y aparato respiratorio 650

NOTAS CLÍNICAS
Fibrosis quística **632**
Bloqueo traqueal **637**
EPOC: asma, bronquitis y enfisema **643**
Cáncer de pulmón **646**
Síndrome de dificultad respiratoria (SDR) **647**

CASO CLÍNICO
¿Qué relación tiene todo esto, doctor? **650**

TÉRMINOS CLÍNICOS **652**

25 Aparato digestivo 655

Introducción al aparato digestivo 656
Organización histológica del tubo digestivo **656**
Mucosa 656
Submucosa 656
Muscular propia 657
Serosa 657
Capas musculares y movimiento de los materiales digestivos **657**
Peristaltismo 659
Segmentación 659
Peritoneo **660**
Mesenterios 660

Cavidad oral 662
Anatomía de la cavidad oral **662**
Lengua 662
Glándulas salivales 663
Regulación de las glándulas salivales 664
Dientes 664

Faringe 666
Proceso de la deglución **666**

Esófago 667
Histología de la pared esofágica **667**

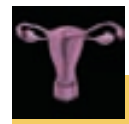
Estómago 668
Anatomía del estómago **668**
Mesenterios del estómago 671
Irrigación del estómago 671
Musculatura del estómago 671
Histología del estómago **671**
Células secretoras gástricas 673
Regulación del estómago **673**

Intestino delgado 673
Regiones del intestino delgado **674**
Duodeno 674
Yeyuno 674
Íleon 674
Soporte del intestino delgado **674**
Histología del intestino delgado **674**
Epitelio intestinal 674
Glándulas intestinales 674
Lámina propia 676
Especializaciones regionales 676
Regulación del intestino delgado **677**

Intestino grueso 677
Ciego 677
Colon 677
Regiones del colon 677
Recto 679
Histología del intestino grueso 679
Regulación del intestino grueso 679
Órganos digestivos glandulares accesorios 680
Hígado 680
Anatomía de hígado 681
Organización histológica del hígado 681
Vesícula biliar 683
Páncreas 684
Organización histológica del páncreas 685
Enzimas pancreáticas 686
Regulación de la secreción pancreática 686
Envejecimiento y aparato digestivo 687
NOTAS CLÍNICAS
Peritonitis 660
Parotiditis 664
Acalasia, esofagitis y ERGE 666
Gastritis y úlceras pépticas 673
Problemas de almacenamiento y secreción de bilis 685
CASO CLÍNICO
China era magnífica, pero… 687
TÉRMINOS CLÍNICOS 689

26 Aparato urinario 693

Riñones 694
Anatomía superficial del riñón 694
Anatomía seccional del riñón 694
Irrigación de los riñones 696
Inervación de los riñones 696
Histología del riñón 696
Introducción a la estructura y función de la nefrona 698
Corpúsculo renal 699
Túbulo contorneado proximal 703
Asa de Henle 703
Túbulo contorneado distal 703
Sistema colector 703
Estructuras para el transporte, el almacenamiento y la eliminación de la orina 704
Uréteres 704
Histología de los uréteres 704
Vejiga urinaria 704
Histología de la vejiga urinaria 705
Uretra 706
Histología de la uretra 708
Reflejo de micción y evacuación de la orina 708
Envejecimiento y aparato urinario 708
NOTAS CLÍNICAS
Avances en el tratamiento de la insuficiencia renal 704
Problemas con el sistema de conducción 707
Infecciones urinarias 708
CASO CLÍNICO
¿Por qué ella se puso tan enferma y yo no? 709
TÉRMINOS CLÍNICOS 711



27 Aparato reproductor 714

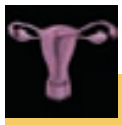
Organización del aparato reproductor 715
Anatomía del aparato reproductor masculino 715
Testículos 715
Descenso de los testículos 715
Cordones espermáticos 715
Estructura testicular 718
Histología testicular 718
Espermatogenia y meiosis 718
Espermiogenia 719
Células nodrizas 719
Anatomía del espermatozoide 721
Aparato reproductor masculino 722
Epidídimo 722
Conducto deferente 722
Uretra 722
Glándulas accesorias 723
Glándulas seminales 723
Próstata 723
Glándulas bulbouretrales 725
Semen 725
Pene 725
Anatomía del aparato reproductor femenino 727
Ovarios 727
Ciclo ovárico y la ovogenia 727
Edad y ovogenia 732
Trompas uterinas 732
Características histológicas de la trompa uterina 733
Útero 733
Ligamentos suspensorios del útero 733
Anatomía interna del útero 733
Pared uterina 734
Irrigación uterina 734
Histología uterina 734
Ciclo uterino 735
Vagina 736
Histología vaginal 737
Genitales externos 738
Glándulas mamarias 739
Desarrollo de las glándulas mamarias durante el embarazo 739

Embarazo y aparato reproductor femenino 740
Envejecimiento y aparato reproductor 741
Menopausia 741
Climaterio masculino 741

NOTAS CLÍNICAS
Cáncer de testículo 722
Cáncer de ovario 727
Cáncer uterino 733
Cáncer de mama 739

CASO CLÍNICO
¿Es normal en una persona de mi edad? 741

TÉRMINOS CLÍNICOS 743



28
Aparato reproductor: Embriología y desarrollo humano 747

Introducción al desarrollo 748
Fecundación 748
El ovocito en la ovulación 748
Formación de pronúcleos y anfimixis 748
Desarrollo prenatal 749
Primer trimestre 750
Segmentación y formación del blastocisto 751
Implantación 752
Placentación 755
Embriogenia 755
Segundo y tercer trimestres 757
Parto y alumbramiento 760
Evolución del parto 760
Fase de dilatación 760
Fase de expulsión 760
Fase de expulsión de la placenta 762
Parto prematuro 762
Período neonatal 763

RESÚMENES DE EMBRIOLOGÍA
Desarrollo del sistema tegumentario 764
Desarrollo del cráneo 766
Desarrollo de la columna vertebral 768
Desarrollo del esqueleto de las extremidades 770
Desarrollo de los músculos 772
Desarrollo del sistema nervioso 774
Desarrollo de la médula espinal, parte I 775
Desarrollo de la médula espinal, parte II 776
Desarrollo del encéfalo, parte I 777
Desarrollo del encéfalo, parte II 778
Desarrollo de órganos sensoriales especializados, parte I 779
Desarrollo de órganos sensoriales especializados, parte II 780
Desarrollo del sistema endocrino, parte I 781
Desarrollo del sistema endocrino, parte II 782
Desarrollo del corazón 783
Desarrollo del aparato cardiovascular 784
Desarrollo del sistema linfático 786
Desarrollo del aparato respiratorio, parte I 787
Desarrollo del aparato respiratorio, parte II 788
Desarrollo del aparato digestivo, parte I 789
Desarrollo del aparato digestivo, parte II 790
Desarrollo del aparato urinario, parte I 791
Desarrollo del aparato urinario, parte II 792
Desarrollo del aparato reproductor 793

NOTAS CLÍNICAS
Complejidad y perfección 750
Teratógenos y anomalías del desarrollo 751
Parto con fórceps y parto de nalgas 763
Evaluación del neonato 763

TÉRMINOS CLÍNICOS 796

Respuestas a las preguntas de verificación de conceptos y de revisión del capítulo 799

Apéndice 819
Pesos y medidas 820
Raíces, prefijos, sufijos y combinaciones de términos en otras lenguas 822
Epónimos de uso frecuente 823

Glosario de términos clave 825

Créditos fotográficos 845

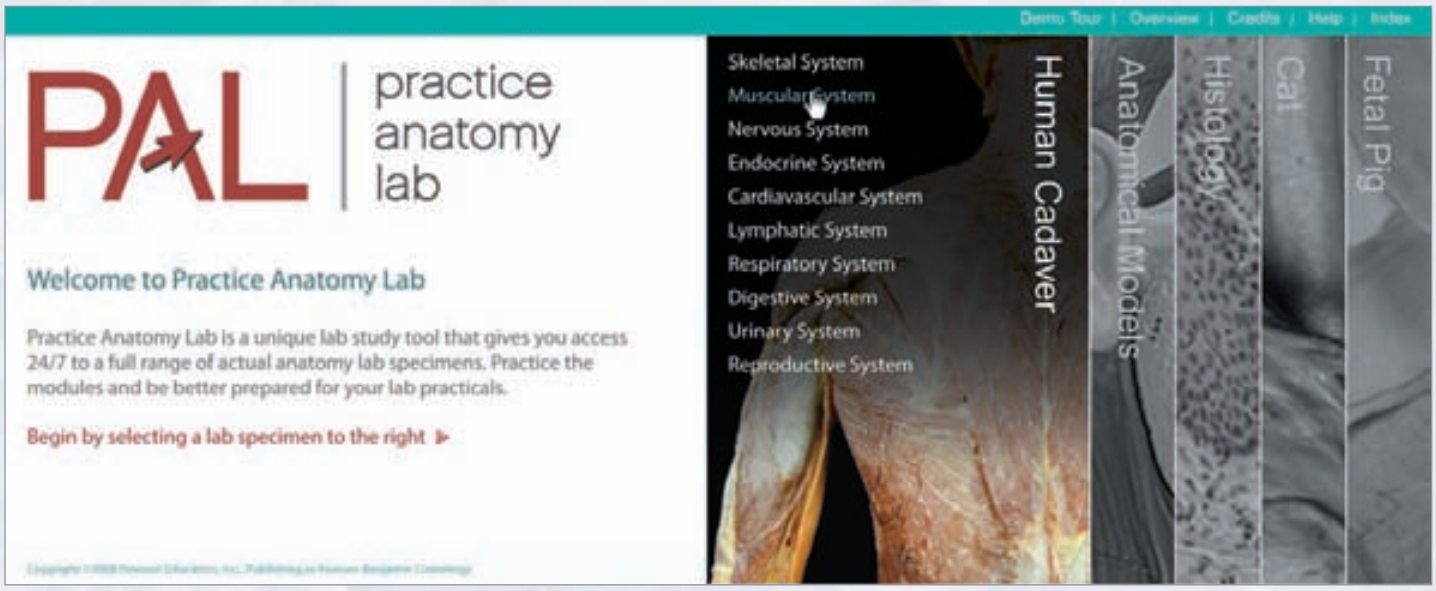
Índice alfabético 847

NEW! PAL™ 2.0

The Ultimate Anatomy Practice Tool

PAL 2.0 is on the myA&P™ Companion Website at www.myaandp.com.

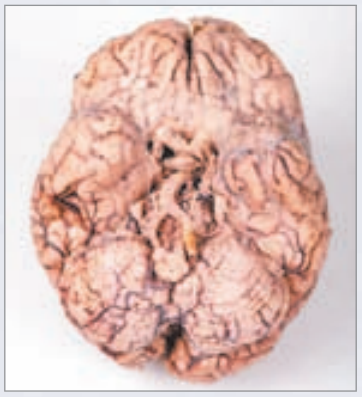
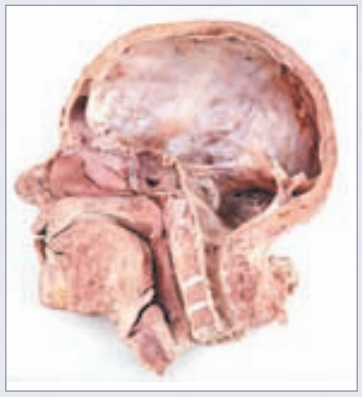
The **PAL 2.0 CD-ROM** can also be packaged with the book for no additional charge.


Demo Tour | Overview | Credits | Help | Index
PAL
practice anatomy lab
Welcome to Practice Anatomy Lab
Practice Anatomy Lab is a unique lab study tool that gives you access 24/7 to a full range of actual anatomy lab specimens. Practice the modules and be better prepared for your lab practicals.
Begin by selecting a lab specimen to the right
Skeletal System
Muscular System
Nervous System
Endocrine System
Cardiavascular System
Lymphatic System
Respiratory System
Digestive System
Urinary System
Reproductive System
Human Cadaver
Anatomical Models
Histology
Cat
Fetal Pig

Practice Anatomy Lab (PAL) 2.0 is an indispensable virtual anatomy practice tool that gives students 24/7 access to the most widely used lab specimens, including the human cadaver, anatomical models, histology slides, cat, and fetal pig. Each of the five specimen modules includes hundreds of images as well as interactive tools for reviewing the specimens, hearing the names of anatomical structures, and taking multiple choice quizzes and fill-in-the-blank lab practical exams. Specimen images are also linked to animations.

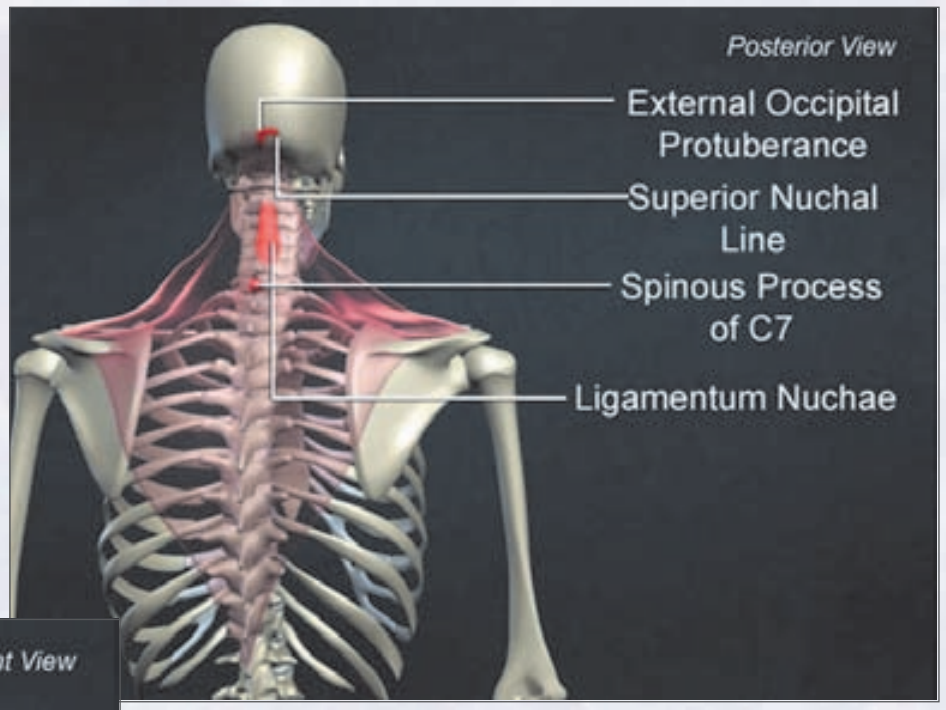
NEW! PAL 2.0 features:

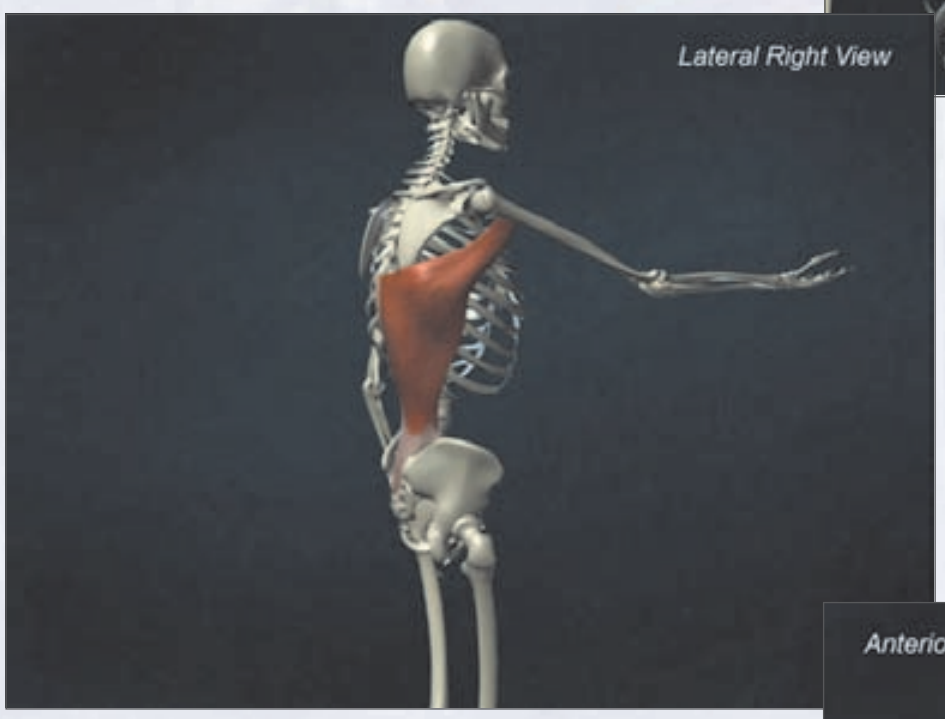
- **The Human Cadaver module** includes hundreds of specially-commissioned cadaver photos in all three activity sections in the module.This module also provides a fully **rotatable human skull** and 17 other rotatable skeletal structures.
- **3D Animations of Origins, Insertions, Actions, and Innervations** depict more than 65 muscles in the Human Cadaver module. These 3D Animations are viewable as students learn and hear the name of a muscle, thereby giving students a **one-stop learning experience**. Gradable Quizzes for the Animations are included.
- **Customizable and gradable Quizzes and Lab Practicals** allow instructors to customize the online gradable Quizzes and Lab Practicals to reflect only those structures on which they want their students to be tested.
- **A greatly expanded Histology module** includes more images of different types of tissues.
- **Two new body systems, Endocrine and Lymphatic**, have been added to the Human Cadaver and Anatomical Models modules.

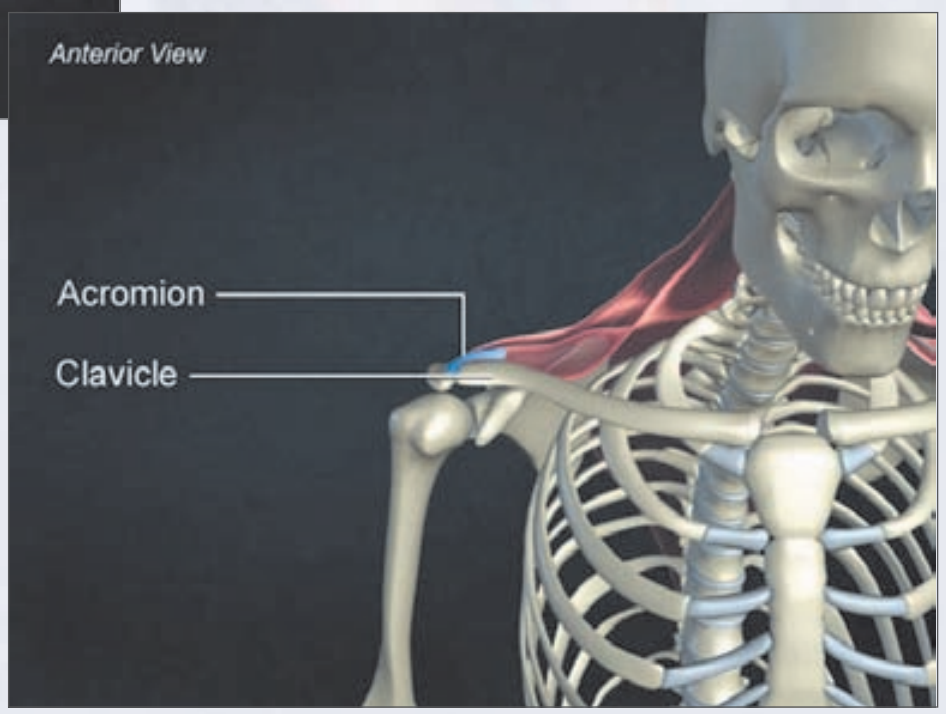



NEW! 3D Animations of Origins, Insertions, Actions, and Innervations with Gradable Quizzes

Link from more than 65 muscle images in the PAL 2.0 Human Cadaver module to these 3D Animations of Origins, Insertions, Actions, and Innervations. Quizzes for the Animations are included in the Quizzes section of PAL 2.0. The customizable and gradable Quizzes are also available on myA&P™ with CourseCompass.™







myA&P

www.myaandp.com

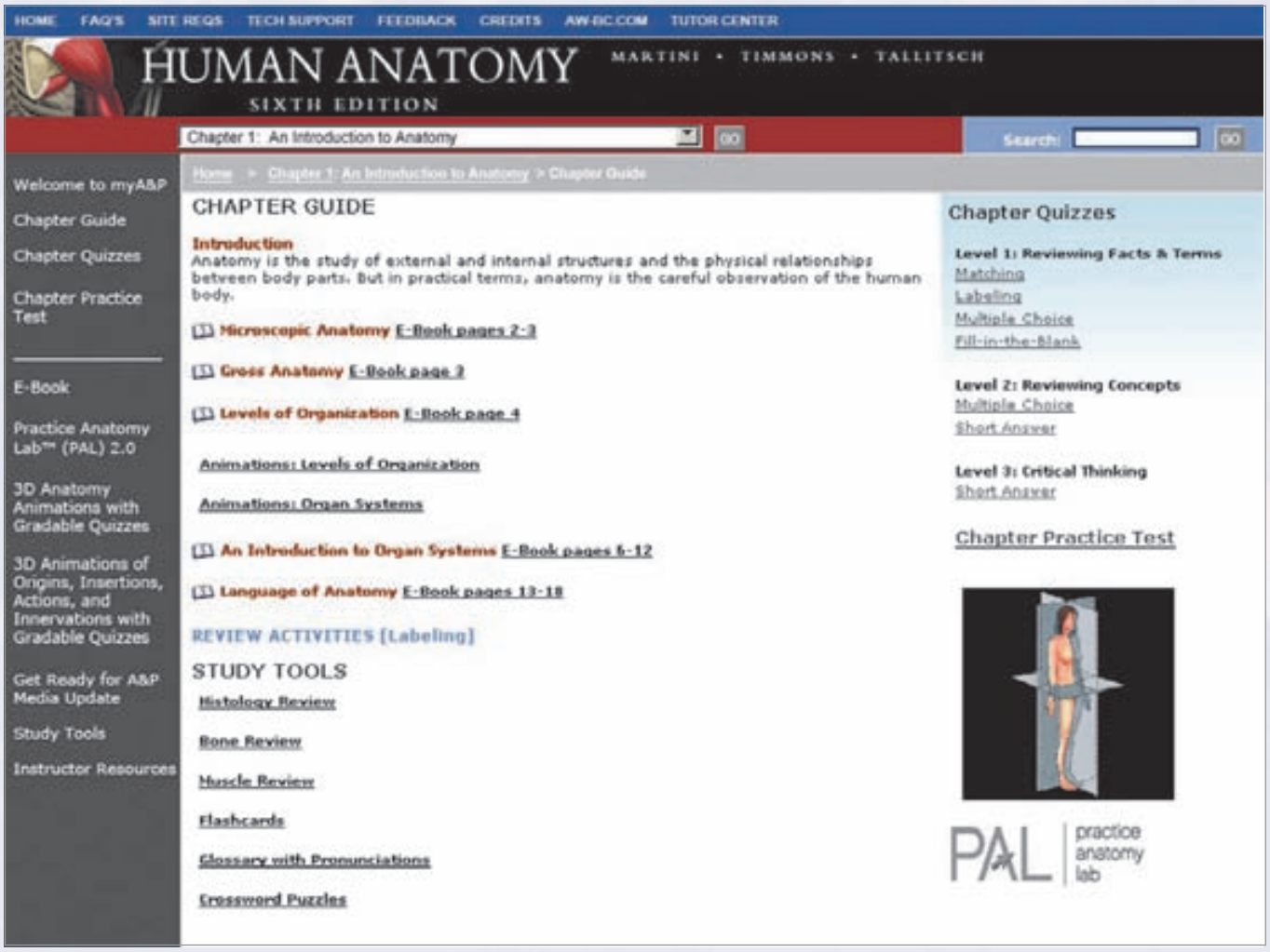
A WEALTH OF RESOURCES AND TOOLS, ALL IN ONE CONVENIENT LOCATION

myA&P™

This companion website for ***Human Anatomy***, **Sixth Edition** includes chapter guides, learning activities, self-study quizzes, brand-new anatomy animations with quizzes, interactive flashcards, bone review, muscle review, histology review, web links, and a glossary with pronunciations. This greatly expanded website provides the online versions of the new Practice Anatomy Lab™ (PAL) 2.0 and ***Get Ready for A&P*** **Media Update**. It also includes a password-protected Instructor's Resource Section.

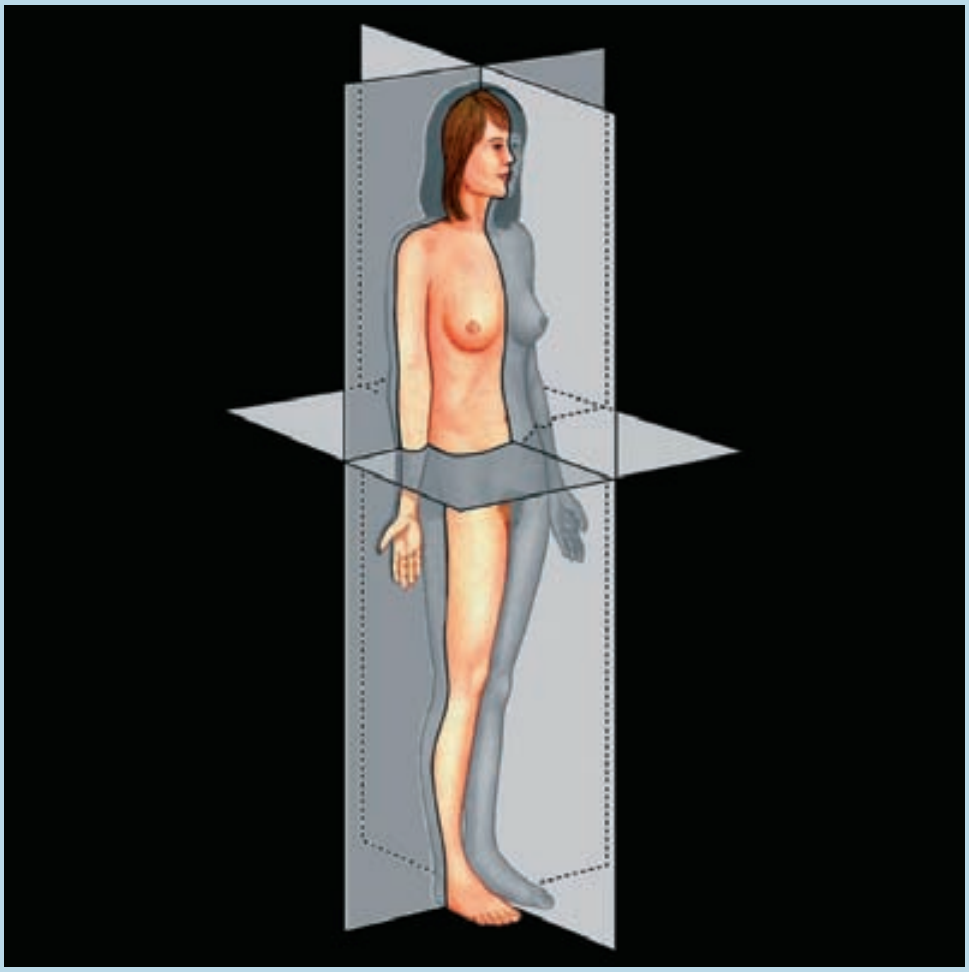
myA&P with CourseCompass™

myA&P with CourseCompass combines the strength of the content of the myA&P website with state-of-the-art eLearning tools. CourseCompass is a nationally hosted, dynamic, interactive online course management system powered by Blackboard, the leading platform for Internet-based learning tools. This easy-to-use and customizable program enables professors to tailor content and functionality to meet individual course needs. The course includes all of the content found on the myA&P website together with course management functionality.


HOME FAQ'S SITE REQS TECH SUPPORT FEEDBACK CREDITS AW-BC.COM TUTOR CENTER
HUMAN ANATOMY
SIXTH EDITION
MARTINI • TIMMONS • TALLITSCH
Chapter 1: An Introduction to Anatomy
Search:
Welcome to myA&P
Chapter Guide
Chapter Quizzes
Chapter Practice Test
E-Book
Practice Anatomy Lab™ (PAL) 2.0
3D Anatomy Animations with Gradable Quizzes
3D Animations of Origins, Insertions, Actions, and Innervations with Gradable Quizzes
Get Ready for A&P Media Update
Study Tools
Instructor Resources
Home > Chapter 1: An Introduction to Anatomy > Chapter Guide
CHAPTER GUIDE
Introduction
Anatomy is the study of external and internal structures and the physical relationships between body parts. But in practical terms, anatomy is the careful observation of the human body.
Microscopic Anatomy E-Book pages 2-3
Gross Anatomy E-Book page 3
Levels of Organization E-Book page 4
Animations: Levels of Organization
Animations: Organ Systems
An Introduction to Organ Systems E-Book pages 5-12
Language of Anatomy E-Book pages 13-18
REVIEW ACTIVITIES [Labeling]
STUDY TOOLS
Histology Review
Bone Review
Muscle Review
Flashcards
Glossary with Pronunciations
Crossword Puzzles
Chapter Quizzes
Level 1: Reviewing Facts & Terms
Matching
Labeling
Multiple Choice
Fill-in-the-Blank
Level 2: Reviewing Concepts
Multiple Choice
Short Answer
Level 3: Critical Thinking
Short Answer
Chapter Practice Test
PAL practice anatomy lab

1

Introducción a la anatomía



Introducción 2

Anatomía microscópica 2

Anatomía macroscópica 3

Otras perspectivas de la anatomía 3

Niveles de organización 4

Introducción a los sistemas orgánicos 6

Lenguaje anatómico 13

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Entender las razones para estudiar anatomía y describir la relación entre estructura y función.
2. Definir los límites de la anatomía microscópica y exponer sucintamente la citología y la histología.
3. Explicar distintas maneras de enfocar la anatomía macroscópica.
4. Precisar las diversas especialidades de la anatomía.
5. Reconocer los niveles de organización fundamentales en los organismos vivos.
6. Describir las funciones vitales básicas de un organismo.
7. Identificar los sistemas orgánicos del cuerpo humano y comprender sus funciones básicas.
8. Utilizar los términos anatómicos para nombrar las partes del cuerpo, sus regiones, las ubicaciones relativas y la posición anatómica.
9. Distinguir las principales cavidades corporales y comprender sus funciones.

En nuestra vida diaria, todos somos anatomistas, y más aún en el aula. Por ejemplo, contamos con los recuerdos que tenemos de determinados rasgos anatómicos para identificar a nuestros amigos y familiares, y estamos atentos a los cambios más sutiles producidos en los movimientos o en la postura del cuerpo como una fuente que nos da pistas sobre lo que piensan o sienten los demás. Para ser precisos, la anatomía es el estudio de las estructuras externas e internas, y de las relaciones físicas existentes entre las diversas partes corporales. Pero en un sentido práctico, la anatomía es la observación minuciosa del cuerpo humano. La información anatómica aporta indicios para averiguar cuáles son las funciones desempeñadas con mayor probabilidad; la fisiología es el estudio de la función, y los mecanismos fisiológicos sólo pueden explicarse desde la anatomía subyacente. *Cualquier función específica la realiza una estructura específica.* Por ejemplo, la filtración, el calentamiento y la humidificación del aire inspirado son el cometido de las fosas nasales. La forma adoptada por los huesos que sobresalen hacia la cavidad genera una turbulencia en el aire inhalado, que lo lanza en remolinos contra su revestimiento húmedo. Este contacto calienta y humedece el aire, y toda partícula que lleve en suspensión queda adherida a las superficies húmedas. De este modo, el aire estará acondicionado y filtrado antes de llegar a los pulmones.

Siempre existe un vínculo entre estructura y función, aunque no siempre se entienda. Por ejemplo, la anatomía de superficie del corazón fue descrita con claridad en el siglo xv, pero tuvieron que transcurrir casi 200 años antes de demostrarse su acción de bombeo. Por el contrario, muchas funciones importantes de las células se conocieron décadas antes de que el microscopio electrónico pusiera de manifiesto sus fundamentos anatómicos.

Este texto va a explicar las estructuras anatómicas y las funciones que permiten la vida humana. Sus objetivos son ayudarle a comprender las relaciones anatómicas de manera tridimensional, así como ofrecer una preparación para realizar cursos más especializados sobre anatomía, fisiología y otras materias afines, y contribuir a tomar unas decisiones fundadas acerca de la salud personal.

Anatomía microscópica [v. figura 1.1]

La **anatomía microscópica,** o *anatomía fina,* examina las estructuras que no pueden verse sin ampliarlas. Sus límites los fija el equipo utilizado (**v. figura 1.1**). Una simple lente de aumento revela aspectos que apenas escapan a la vista sin más, mientras que un microscopio electrónico pone de manifiesto detalles estructurales que no llegan a la millonésima parte de sus dimensiones. En el recorrido realizado por el texto, iremos analizando la información a todos los niveles, desde lo macroscópico hasta lo microscópico. (Los lectores poco familiarizados con los términos empleados para describir los pesos y las medidas a esta escala de tamaño deberían consultar las tablas de referencia contenidas en el apéndice, pp. 820-821.)

La anatomía microscópica puede subdividirse en distintas especialidades dedicadas a estudiar los rasgos correspondientes a una gama característica de proporciones. La **citología** analiza la estructura interna de las **células,** las unidades más pequeñas de la vida. Las células vivas están compuestas por complejos químicos distribuidos en diversas combinaciones, y nuestra subsistencia depende de los procesos bioquímicos acaecidos en los miles de millones de células que integran nuestro cuerpo.

La **histología** adopta una perspectiva más amplia y examina los **tejidos,** grupos de células especializadas y de productos celulares que actúan en conjunto para ejecutar funciones específicas. Las células del cuerpo humano pueden asignarse a cuatro tipos tisulares básicos, que constituyen el tema del capítulo 3.

La reunión de los tejidos forma **órganos,** como el corazón, el riñón, el hígado y el cerebro. Los órganos son unidades anatómicas que cumplen múltiples funciones. Muchos tejidos y la mayoría de los órganos se exploran con facilidad sin un microscopio, y este es el punto en el que atravesamos la frontera entre la anatomía microscópica y la macroscópica.

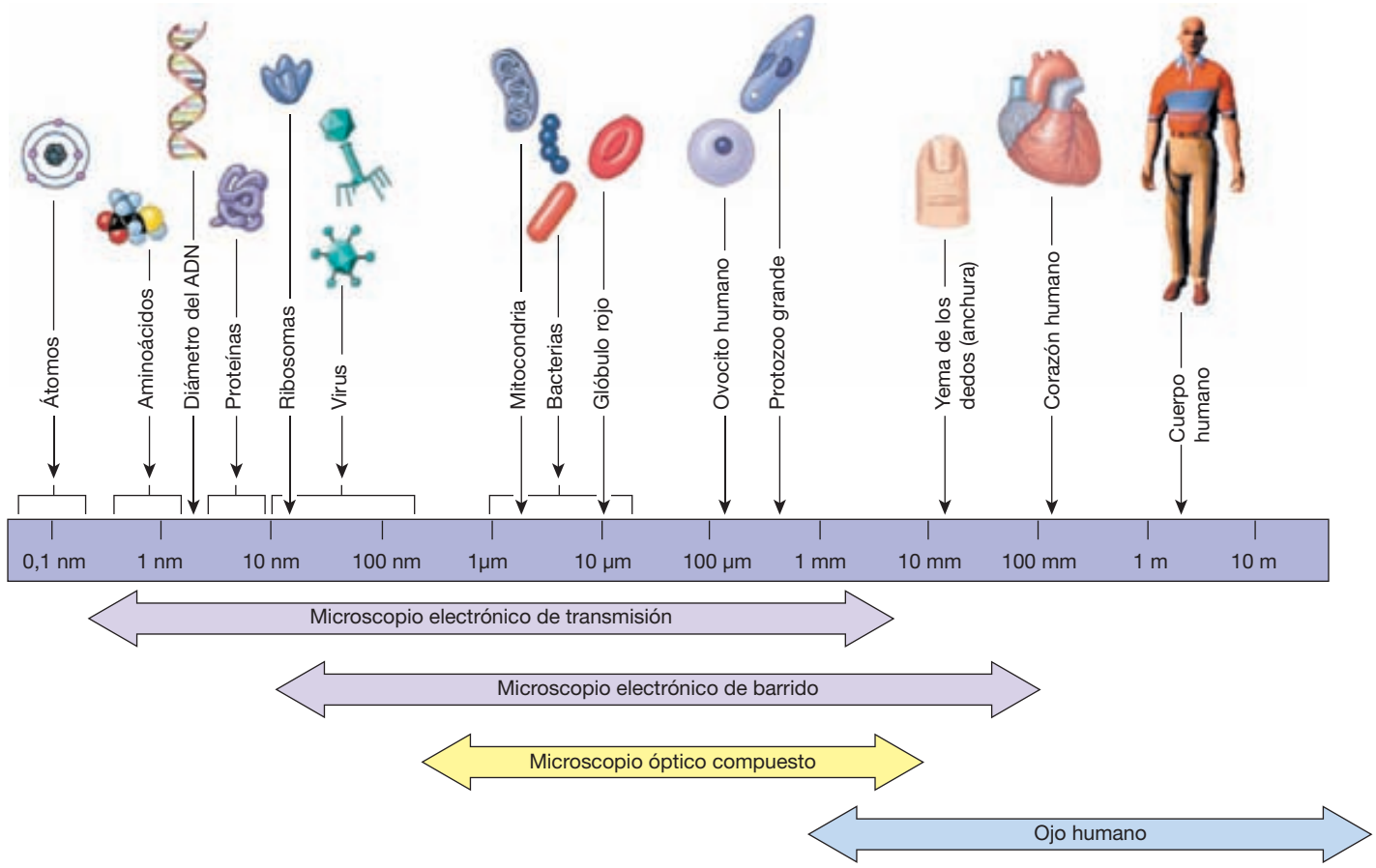


Figura 1.1 Estudio de la anatomía a diferentes escalas
La cantidad de detalles reconocidos depende del método de estudio y del grado de aumento.

Anatomía macroscópica

La **anatomía macroscópica** examina estructuras relativamente grandes y aquellas características visibles a simple vista para el ojo. Hay muchas maneras de enfocar su planteamiento:

- La *anatomía de superficie* designa el estudio de la forma general, o *morfología,* y de las proyecciones anatómicas superficiales.
- La *anatomía regional* contempla todos los rasgos superficiales e internos de una zona corporal específica, como la cabeza, el cuello o el tronco. Los cursos especializados de anatomía muchas veces hacen hincapié en el método regional porque pone de relieve las relaciones espaciales entre estructuras ya conocidas por los estudiantes.
- La *anatomía general* o *sistémica* analiza la estructura de los principales *sistemas orgánicos,* como el óseo o el muscular. Los sistemas orgánicos son grupos de órganos cuyo funcionamiento conjugado permite ejercer unos efectos coordinados. Por ejemplo, el corazón, la sangre y los vasos sanguíneos constituyen el *aparato cardiovascular,* que distribuye el oxígeno y los nutrientes por todo el cuerpo. En el ser humano hay 11 sistemas orgánicos, que se presentarán más adelante en este mismo capítulo. Los textos de introducción a la anatomía, como este, adoptan un punto de vista general porque proporciona el marco para organizar la información sobre los patrones estructurales y funcionales más importantes.

Otras perspectivas de la anatomía

[v. figura 1.2]

En este texto aparecerán otras especialidades anatómicas.

- La *anatomía del desarrollo* examina los cambios que suceden en la forma durante el período de la fecundación a la madurez física. Al considerar cualquier estructura anatómica a lo largo de una serie tan amplia de tamaños (desde una sola célula hasta un humano adulto), conlleva el estudio de la anatomía microscópica y macroscópica. La anatomía del desarrollo es importante en medicina porque muchas alteraciones organizativas pueden obedecer a algún error sucedido durante esta fase. Los cambios estructurales de mayor envergadura ocurren durante los dos primeros meses del crecimiento. La **embriología** es el estudio de estos procesos iniciales en el desarrollo.
- La *anatomía comparada* explora la organización anatómica correspondiente a los diversos tipos de animales. Las semejanzas observadas pueden reflejar alguna relación evolutiva. Los humanos, los lagartos y los tiburones reciben el nombre de *vertebrados,* porque comparten una combinación de características anatómicas que no están presentes en ningún otro grupo de animales. Todos poseen una columna vertebral compuesta por elementos independientes, llamados *vértebras.* La anatomía comparada

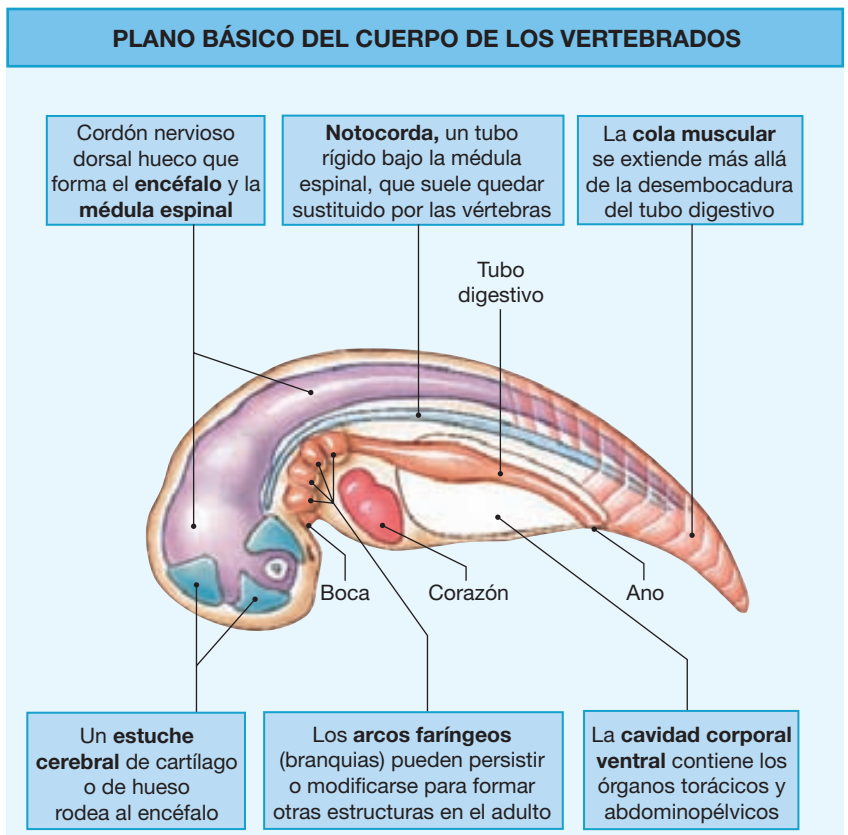

PLANO BÁSICO DEL CUERPO DE LOS VERTEBRADOS
Cordón nervioso dorsal hueco que forma el encéfalo y la médula espinal
Notocorda, un tubo rígido bajo la médula espinal, que suele quedar sustituido por las vértebras
La cola muscular se extiende más allá de la desembocadura del tubo digestivo
Tubo digestivo
Boca
Corazón
Ano
Un estuche cerebral de cartílago o de hueso rodea al encéfalo
Los arcos faríngeos (branquias) pueden persistir o modificarse para formar otras estructuras en el adulto
La cavidad corporal ventral contiene los órganos torácicos y abdominopélvicos
(a)
EMBRIÓN
ADULTO
Somitas, bloques segmentarios que forman los músculos, vértebras, etc.
El cráneo rodea al encéfalo en la cavidad craneal
Las vértebras rodean la médula espinal en la cavidad raquídea
Salmón (pez óseo)
Primordio de la extremidad
Somitas
Cráneo
Vértebras
Pollo
Somitas
Primordios de las extremidades
Cráneo
Vértebras
Humano
(b)
(c)

Figura 1.2 Anatomía comparada
(a) Los humanos se clasifican dentro de los *vertebrados,* un grupo que también incluye animales de aspecto tan diferente como los peces, los pollos y los gatos. Todos los vertebrados comparten un patrón básico de organización anatómica diferente al de otros animales. Las semejanzas suelen ser más evidentes al comparar dos embriones en fases equiparables del desarrollo **(b)** en vez de fijarse en los vertebrados adultos **(c)**.

utiliza técnicas de las ramas citadas, la anatomía macroscópica, la microscópica y la del desarrollo. La información aportada por esta última ha puesto de manifiesto que los animales emparentados entre sí atraviesan unas etapas de desarrollo específicas muy parecidas (**v. figura 1.2**).

Otras especialidades de la anatomía macroscópica son importantes para el diagnóstico médico.

- La *anatomía clínica* se centra en los rasgos anatómicos que puedan experimentar algún cambio patológico reconocible durante una enfermedad.
- La *anatomía quirúrgica* estudia las referencias anatómicas más importantes para realizar una operación.
- La *anatomía radiológica* supone el estudio de las estructuras anatómicas tal como pueden visualizarse en las radiografías, ecografías y otras técnicas especializadas al aplicarlas a un cuerpo íntegro.
- La *anatomía por cortes (seccional)* ha surgido como especialidad nueva de la anatomía macroscópica según han ido aflorando los nuevos adelantos de la anatomía radiológica, como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM).

Nota clínica

Enfermedad, patología y diagnóstico El nombre formal que recibe el estudio de las enfermedades es **patología**. Muchas veces hay procesos diferentes que producen unos signos y unos síntomas parecidos. Por ejemplo, una persona cuyos labios estén más pálidos de lo normal y que refiera falta de energía con disnea podría tener: 1) problemas respiratorios que impidan la llegada normal del oxígeno a la sangre (como en el *enfisema*); 2) problemas cardiovasculares que dificulten la circulación normal de la sangre por todas las partes del cuerpo (insuficiencia cardíaca); o 3) una incapacidad para transportar la cantidad suficiente de oxígeno en la sangre, debido a una hemorragia o a la alteración de sus mecanismos de formación. En tales circunstancias, los médicos han de formular preguntas y recopilar información para determinar la fuente del problema. En muchos casos la anamnesis y la exploración física del paciente pueden bastar para establecer un diagnóstico, pero a menudo hace falta recurrir a pruebas analíticas y estudios de imagen, como las radiografías.

El **diagnóstico** implica tomar una decisión sobre la naturaleza de la enfermedad. Con frecuencia, el proceso de diagnóstico se realiza por eliminación, de forma que se evalúan varias causas posibles y se selecciona la más probable. Esto nos conduce a un concepto clave: *todos los procedimientos diagnósticos presuponen una comprensión de la estructura y el funcionamiento normal del cuerpo humano.*

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuál es el nivel de organización en el que se mueve un histólogo al investigar las estructuras?
2. ¿Qué nivel(es) de organización trata un anatomista macroscópico?
3. ¿En qué difieren el estudio de la anatomía regional y de la anatomía general?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Niveles de organización [v. figuras 1.3/1.4]

Nuestro estudio del cuerpo humano comenzará ofreciendo una panorámica general sobre la anatomía celular, y después pasaremos a exponer la anatomía de cada sistema orgánico, a nivel macroscópico y microscópico. Al atender a cualquier fenómeno desde una escala microscópica hasta otra macroscópica, estamos examinando varios *niveles de organización* interdependientes.

Empezamos por el *nivel de organización químico* o *molecular*. El cuerpo humano está constituido por más de una docena de elementos diferentes, pero cuatro de ellos (hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno) representan más del 99% del conjunto total de átomos (**v. figura 1.3a**). En cuanto a la química, los átomos interactúan para originar compuestos tridimensionales dotados de unas propiedades peculiares. La **figura 1.3b** indica las principales clases de compuestos presentes en el cuerpo humano.

La **figura 1.4** ofrece un ejemplo de las relaciones que guarda el nivel químico con los niveles de organización superiores. El *nivel de organización celular* corresponde a las *células*, las unidades vivas más pequeñas del cuerpo. Las células contienen unas estructuras internas llamadas *orgánulos*. Las células y sus orgánulos están formados por complejos químicos. En el capítulo 2 se expondrá la estructura de una célula y la función que cumplen los principales orgánulos. Tal como se aprecia en la **figura 1.4**, las interacciones químicas sucedidas en el interior de un *miocito* cardíaco producen complejos proteicos. Los miocitos son atípicos porque pueden contraerse con fuerza y acortarse a lo largo de su eje longitudinal.

Los miocitos cardíacos están conectados entre sí para originar un *tejido muscular* característico, que da un ejemplo del *nivel de organización tisular*. Las capas de tejido muscular configuran el grueso de la pared del corazón, un órgano tridimensional hueco. Este es el *nivel de organización orgánico*.

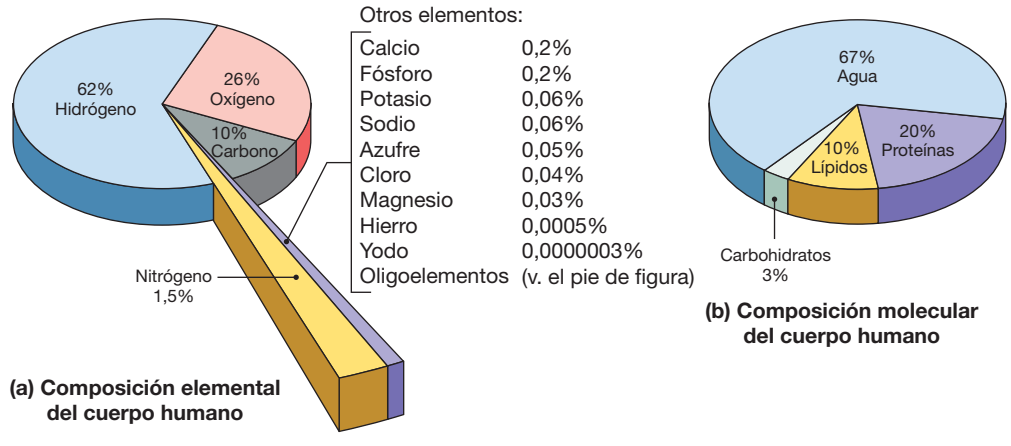


Figura 1.3 Composición del cuerpo en la organización química
Composición porcentual de los elementos y las moléculas fundamentales. **(a)** Composición elemental del cuerpo. Entre los oligoelementos figuran silicio, flúor, cobre, manganeso, cinc, selenio, cobalto, molibdeno, cadmio, cromo, estaño, aluminio y boro. **(b)** Composición molecular del cuerpo.

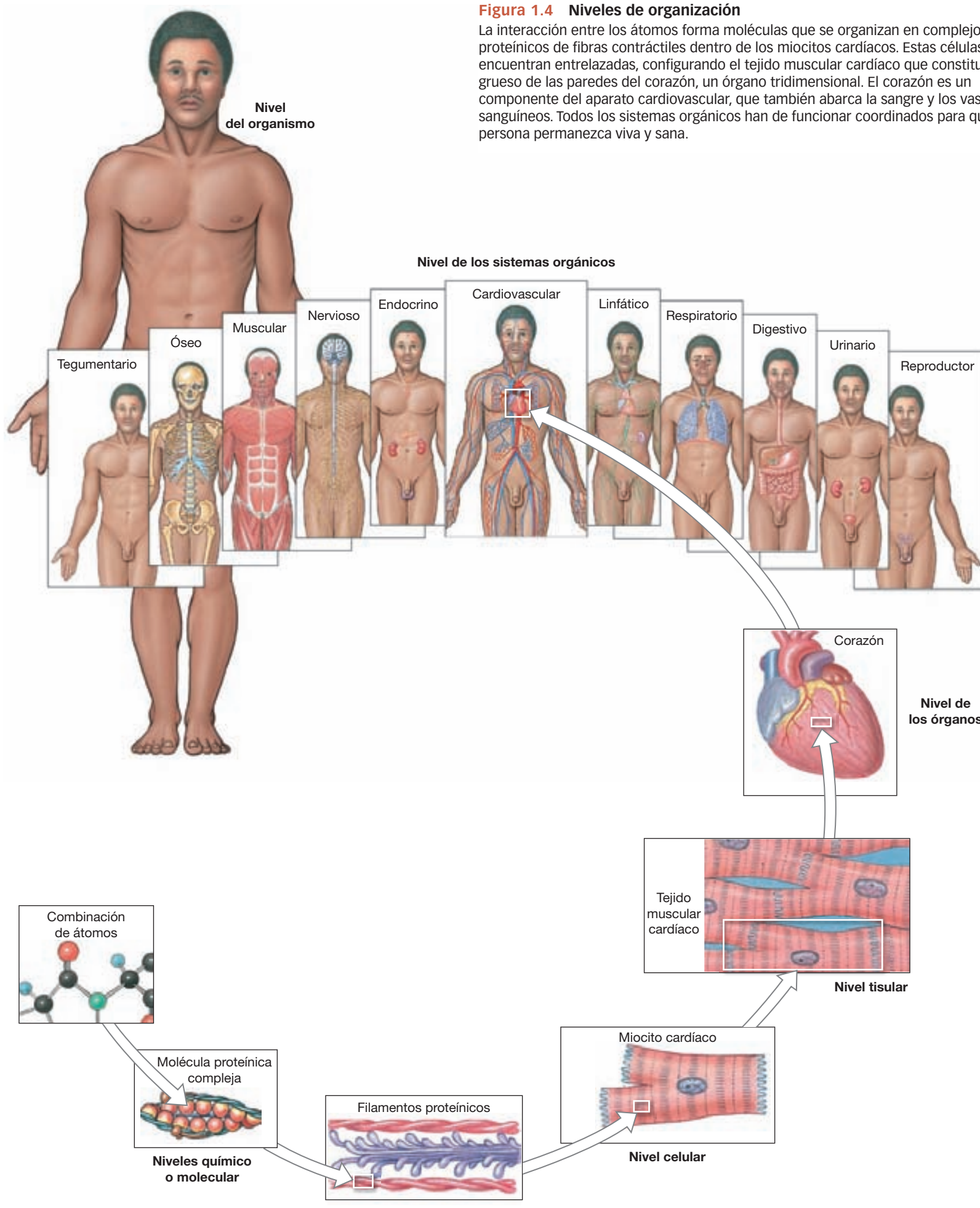


Figura 1.4 Niveles de organización
La interacción entre los átomos forma moléculas que se organizan en complejos proteínicos de fibras contráctiles dentro de los miocitos cardíacos. Estas células se encuentran entrelazadas, configurando el tejido muscular cardíaco que constituye el grueso de las paredes del corazón, un órgano tridimensional. El corazón es un componente del aparato cardiovascular, que también abarca la sangre y los vasos sanguíneos. Todos los sistemas orgánicos han de funcionar coordinados para que la persona permanezca viva y sana.

El funcionamiento normal del corazón depende de unos acontecimientos interrelacionados entre sí en los niveles de organización químico, celular, tisular y orgánico. Las contracciones coordinadas de los miocitos contiguos situados en el tejido del músculo cardíaco provocan un latido. Cuando sucede algo así, la anatomía interna de este órgano le permite actuar como una bomba. Cada vez que se contrae, el corazón empuja la sangre hacia el *aparato circulatorio,* que es una red de vasos sanguíneos. En conjunto, el corazón, la sangre y el aparato circulatorio integran un *sistema orgánico,* el *aparato cardiovascular (ACV).*

Cada nivel de organización depende radicalmente de los otros. Por ejemplo, cualquier daño a nivel celular, tisular u orgánico puede afectar a todo el sistema. De esta manera, la aparición de un cambio químico en los miocitos cardíacos es capaz de provocar unas contracciones anómalas o incluso de detener el latido. La alteración física del tejido muscular, como ocurre al sufrir una herida torácica, lograría anular la eficacia del corazón, aunque la mayoría de los miocitos cardíacos se mantengan íntegros e ilesos. La presencia de una malformación hereditaria de la estructura cardíaca está en condiciones de convertirlo en una bomba inútil, aunque los miocitos y el tejido muscular sean perfectamente normales.

Por último, debería señalarse que si alguna circunstancia perjudica al sistema, a la larga repercutirá sobre todos sus componentes. Por ejemplo, el corazón no siempre va a ser capaz de bombear la sangre con eficacia después de una hemorragia copiosa ocasionada por la lesión de un vaso sanguíneo principal en algún punto del organismo. Si el corazón no puede bombear y la sangre no circula, el oxígeno y los nutrientes tampoco serán distribuidos. En un plazo muy corto, el tejido comenzará a desintegrarse a medida que los miocitos cardíacos mueran por carencia de oxígeno y nutrientes.

Por supuesto, las modificaciones registradas cuando el corazón no bombea con eficacia no quedarán limitadas al aparato cardiovascular; todas las células, tejidos y órganos del cuerpo padecerán algún daño. Esta observación nos conduce hasta otro nivel de organización más alto: el del *organismo;* en este caso, un ser humano. Se trata de un nivel que refleja las interacciones entabladas entre los sistemas orgánicos. Todas ellas son esenciales; cada sistema debe operar correctamente y en perfecta armonía con cualquier otro, o la supervivencia será imposible. Cuando estos sistemas funcionan con normalidad, las características del medio interno permanecerán relativamente estables a todos los niveles. Este estado de cosas de carácter vital se denomina **homeostasis** (*homeo,* inmutable + *stasis,* situación).

Nota clínica

Diagnóstico de las enfermedades La *homeostasis* es el mantenimiento de un medio interno relativamente constante, que sea idóneo para la supervivencia de las células y de los tejidos corporales. Cualquier fracaso en la conservación de las condiciones homeostáticas constituye una **enfermedad.** Al principio, el proceso patológico puede afectar a un tejido, un órgano o un sistema orgánico específico, pero con el tiempo provocará cambios en el funcionamiento o en la estructura de las células por todo el cuerpo. Las defensas del organismo son capaces de superar algunas enfermedades. Otras requieren una intervención y una ayuda. Por ejemplo, cuando existe una hemorragia intensa o una lesión visceral después de un traumatismo, a veces hace falta efectuar una intervención quirúrgica para restablecer la homeostasis y prevenir la aparición de complicaciones mortales.

Introducción a los sistemas orgánicos [v. figuras 1.5/1.6]

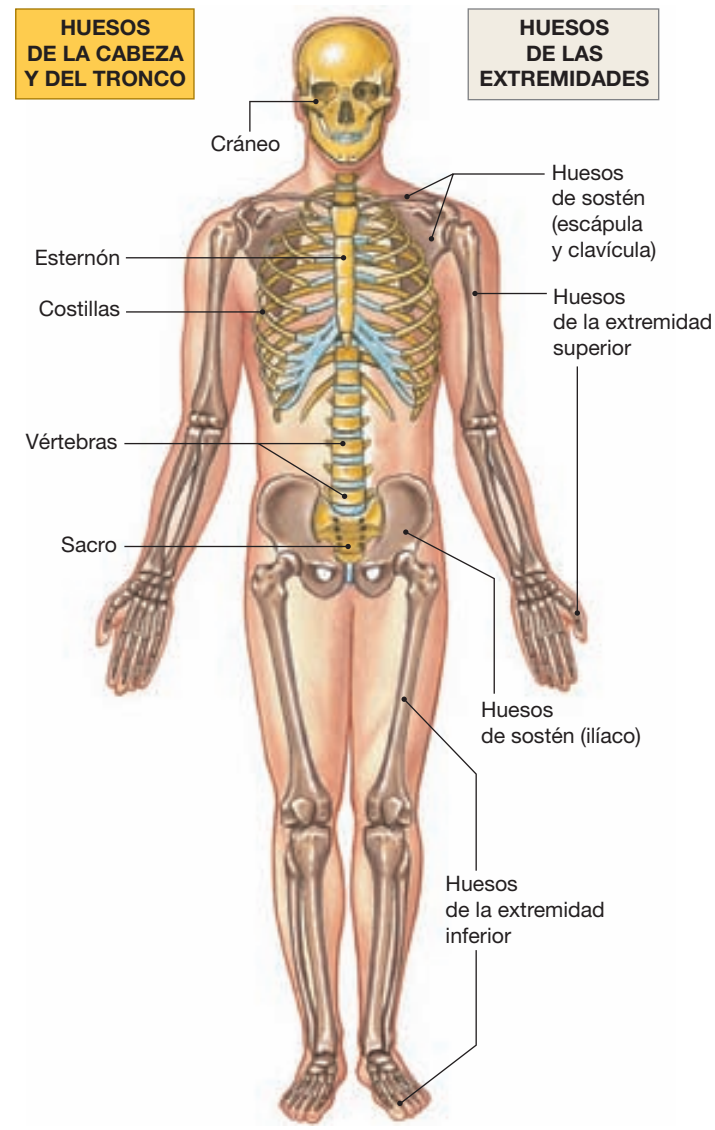
La **figura 1.5** ofrece una panorámica general de los 11 sistemas orgánicos que componen el cuerpo humano. La **figura 1.6** presenta los principales órganos integrantes de cada uno. Todos los organismos vivos comparten unas propiedades y procesos vitales:

- **Reactividad:** Los organismos responden a los cambios ocurridos en su entorno más inmediato; esta propiedad también se denomina *irritabilidad.* La mano se aleja de una estufa caliente, el perro ladra al acercarse un desconocido, el pez se asusta ante un sonido fuerte y las amebas se deslizan hacia una presa en potencia. Los organismos también efectúan cambios más duraderos como medio de adaptarse a sus ambientes. Por ejemplo, a medida que se aproxima el invierno, un animal puede adquirir un pelaje más espeso o emigrar hacia un clima más cálido. La capacidad de llevar a cabo dichas modificaciones se llama *adaptabilidad.*

SISTEMA ORGÁNICO		FUNCIONES PRINCIPALES
	Sistema tegumentario	Protección frente a los peligros ambientales; control de la temperatura
	Sistema óseo	Sostén, protección de las partes blandas; almacenamiento mineral; hematopoyesis
	Sistema muscular	Locomoción, sostén, producción de calor
	Sistema nervioso	Control de las respuestas inmediatas a los estímulos, normalmente mediante la coordinación de las actividades ejecutadas por otros sistemas orgánicos
	Sistema endocrino	Dirección de los cambios prolongados en las actividades ejecutadas por otros sistemas orgánicos
	Aparato cardiovascular	Transporte interno de células y sustancias disueltas, como nutrientes, desechos y gases
	Sistema linfático	Defensa contra la infección y la enfermedad
	Aparato respiratorio	Distribución de aire hacia los lugares donde pueda ocurrir su intercambio de gases con la sangre circulante
	Aparato digestivo	Transformación de los alimentos y absorción de los nutrientes orgánicos, minerales, vitaminas y agua
	Aparato urinario	Eliminación del exceso de agua, sales y residuos; control del pH
	Aparato reproductor	Producción de células sexuales y hormonas

Figura 1.5 Introducción a los sistemas orgánicos
Visión general de los 11 sistemas orgánicos y sus principales funciones.

Figura 1.6 **Sistemas orgánicos del cuerpo**



(a) Sistema tegumentario

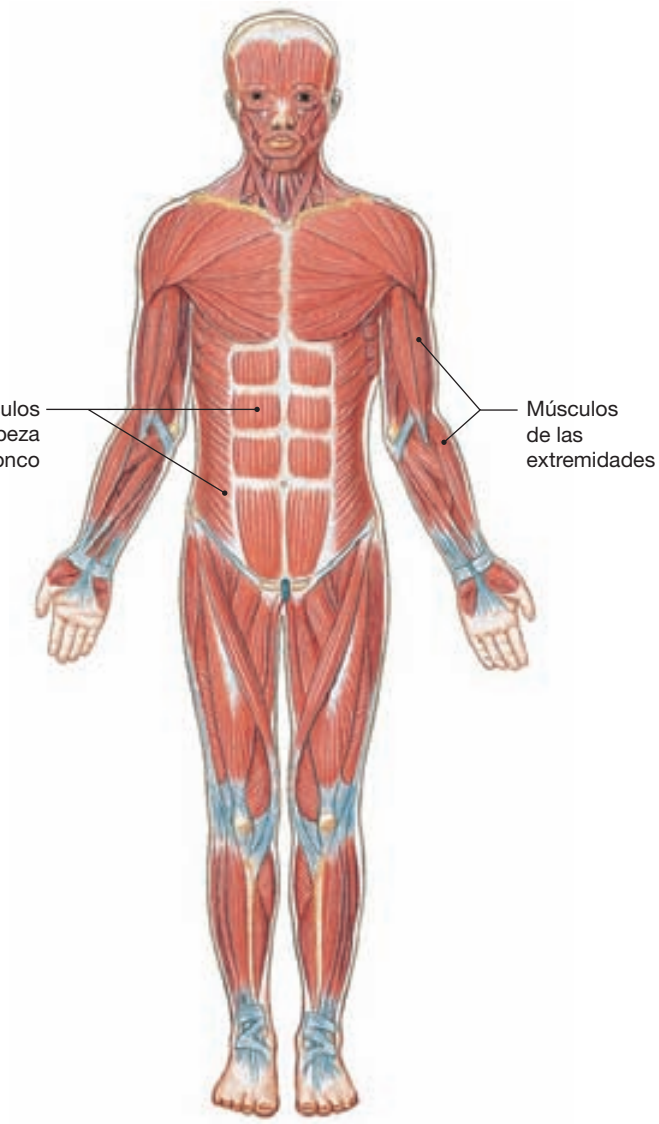
Protege contra los peligros ambientales; contribuye al control de la temperatura corporal

Órgano/componente	Funciones principales
MEMBRANA CUTÁNEA	
Epidermis	Cubre la superficie; protege los tejidos más profundos
Dermis	Nutre la epidermis; ofrece resistencia; contiene glándulas
FOLÍCULOS PILOSOS	Producen pelo; su inervación aporta sensibilidad
Pelos	Ofrecen cierta protección a la cabeza
Glándulas sebáceas	Segregan un recubrimiento lipídico que lubrica el tallo del pelo y la epidermis
GLÁNDULAS SUDORÍPARAS	Se encargan de la transpiración, que produce un enfriamiento por evaporación
UÑAS	Protegen y aportan consistencia a la punta más distal de los dedos
RECEPTORES SENSITIVOS	Suministran sensaciones de tacto, presión, temperatura y dolor
CAPA SUBCUTÁNEA	Almacena lípidos; fija la piel a las estructuras más profundas

(b) Sistema óseo

Proporciona sostén; protege los tejidos; almacena minerales; fabrica las células sanguíneas

Órgano/componente	Funciones principales
HUESOS, CARTÍLAGOS Y ARTICULACIONES	Sostienen y protegen los tejidos blandos; los huesos almacenan minerales
Huesos de la cabeza y del tronco (cráneo, vértebras, sacro, cóccix, esternón, ligamentos y cartílagos de soporte)	Protegen el encéfalo, la médula espinal, los órganos de los sentidos y los tejidos blandos de la cavidad torácica; sostienen el peso del cuerpo por encima de las extremidades inferiores
Huesos de las extremidades (miembros y huesos y ligamentos de sostén)	Proporcionan un apoyo interno y colocan en su posición las extremidades; sostienen y desplazan los huesos del tronco
MÉDULA ÓSEA	Lugar fundamental para la hematopoyesis (médula roja); almacenamiento de reservas energéticas en los adipocitos (médula amarilla)



(c) Sistema muscular

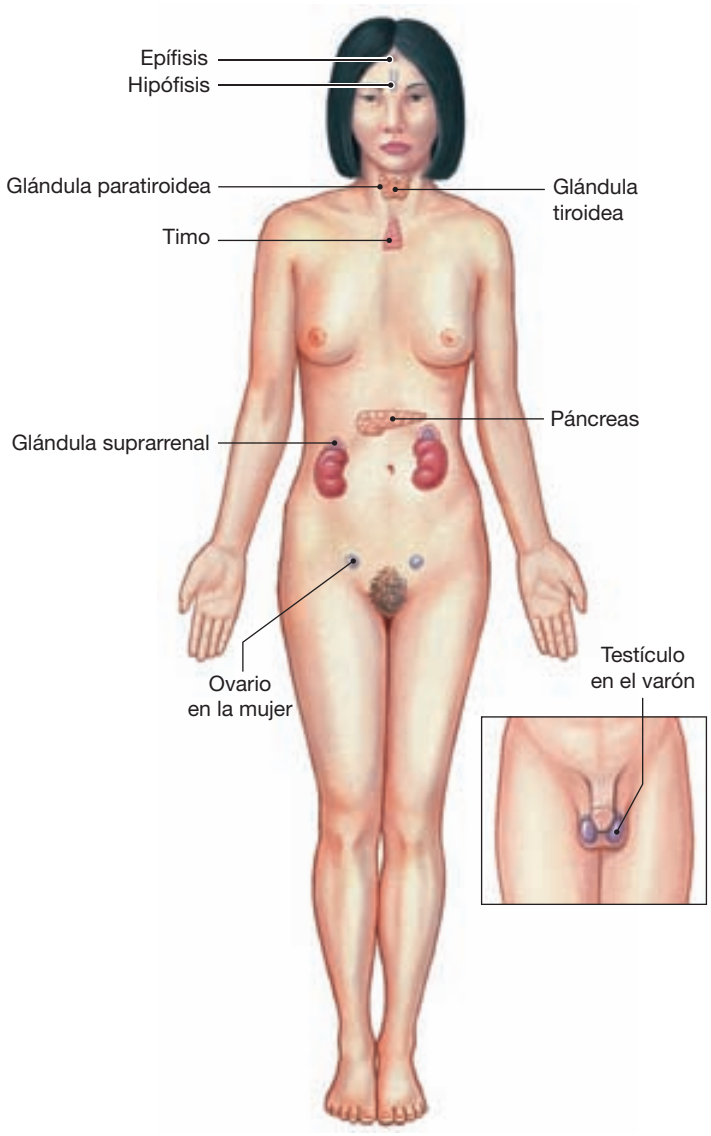
Permite la locomoción; proporciona sostén; produce calor

Órgano/componente	Funciones principales
MÚSCULOS ESTRIADOS (700)	Ponen el esqueleto en movimiento; controlan la entrada del tubo digestivo y de las vías respiratorias y la salida del tubo digestivo y de las vías urinarias; producen calor; sostienen el esqueleto; protegen los tejidos blandos
Músculos de la cabeza y del tronco	Sostienen y colocan en su posición los huesos de la cabeza y del tronco
Músculos de las extremidades	Sostienen, mueven y refuerzan las extremidades
TENDONES, APONEUROSIS	Encauzan las fuerzas de contracción para realizar una tarea específica

(d) Sistema nervioso

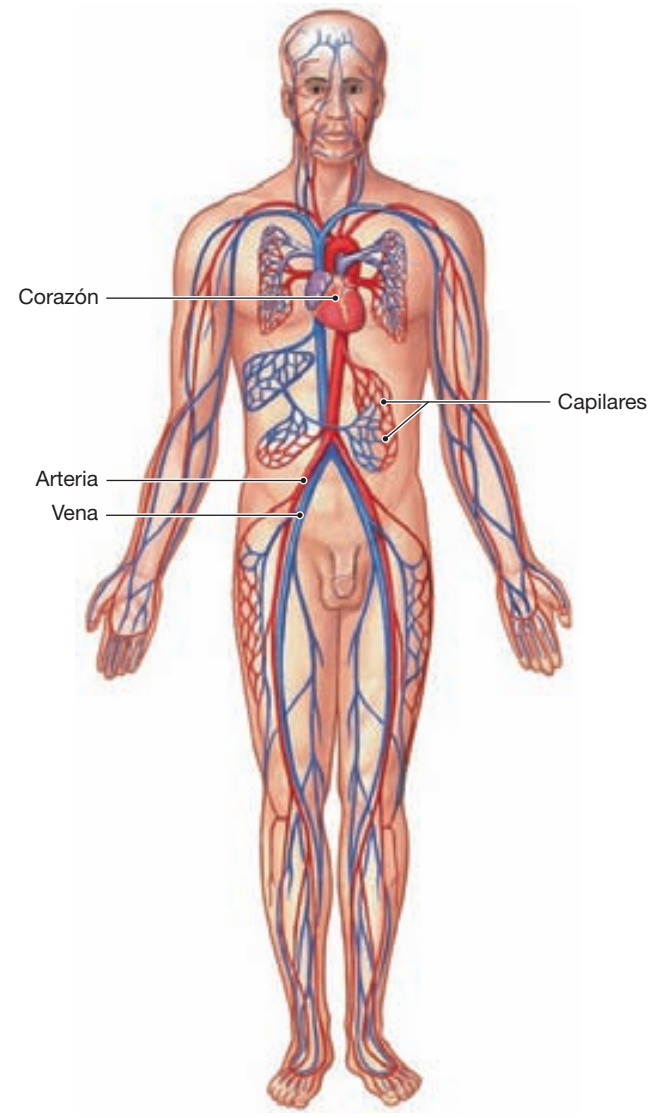
Dirige las respuestas inmediatas a los estímulos; normalmente mediante la coordinación de las actividades ejecutadas por otros sistemas orgánicos

Órgano/componente	Funciones principales
SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)	Actúa como centro de control en el sistema nervioso; elabora la información; regula a corto plazo las actividades ejecutadas por otros sistemas
Encéfalo	Cumple complejas funciones de integración; controla las actividades voluntarias y autónomas
Médula espinal	Transmite información destinada al encéfalo y procedente de él; cumple funciones de integración menos complejas; dirige muchas actividades involuntarias sencillas
Órganos de los sentidos	Suministran datos sensitivos al encéfalo en relación con la vista, el oído, el olfato, el gusto y el equilibrio
SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)	Une el SNC con otros sistemas y con los órganos de los sentidos



(e) Sistema endocrino

Dirige los cambios prolongados en las actividades ejecutadas por otros sistemas orgánicos

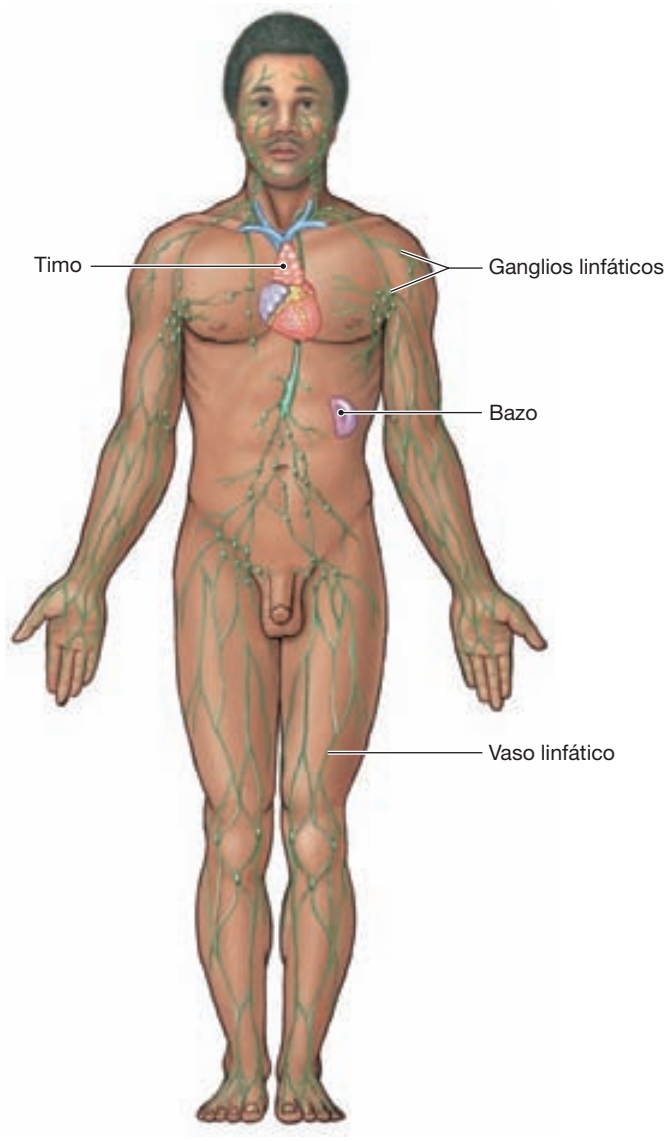


(f) Aparato cardiovascular

Transporta células y sustancias disueltas, como nutrientes, desechos y gases

Órgano/componente	Funciones principales
EPÍFISIS	Puede controlar el momento de la reproducción y fijar los ritmos circadianos
HIPÓFISIS	Controla otras glándulas endocrinas; regula el crecimiento y el equilibrio hidroelectrolítico
GLÁNDULA TIROIDEA	Controla el metabolismo tisular; regula las concentraciones de calcio
GLÁNDULAS PARATIROIDEAS	Regulan las concentraciones de calcio (con el tiroides)
TIMO	Controla la maduración de los linfocitos
GLÁNDULAS SUPRARRENALES	Gradúan el balance hídrico, el metabolismo tisular y la actividad cardiovascular y respiratoria
RIÑONES	Controlan la producción de glóbulos rojos y elevan la presión arterial
PÁNCREAS	Regula la glucemia
GÓNADAS	
Testículos	Mantienen los caracteres sexuales masculinos y las funciones reproductoras *(v. figura 1.6k)*
Ovarios	Mantienen los caracteres sexuales femeninos y las funciones reproductoras *(v. figura 1.6l)*

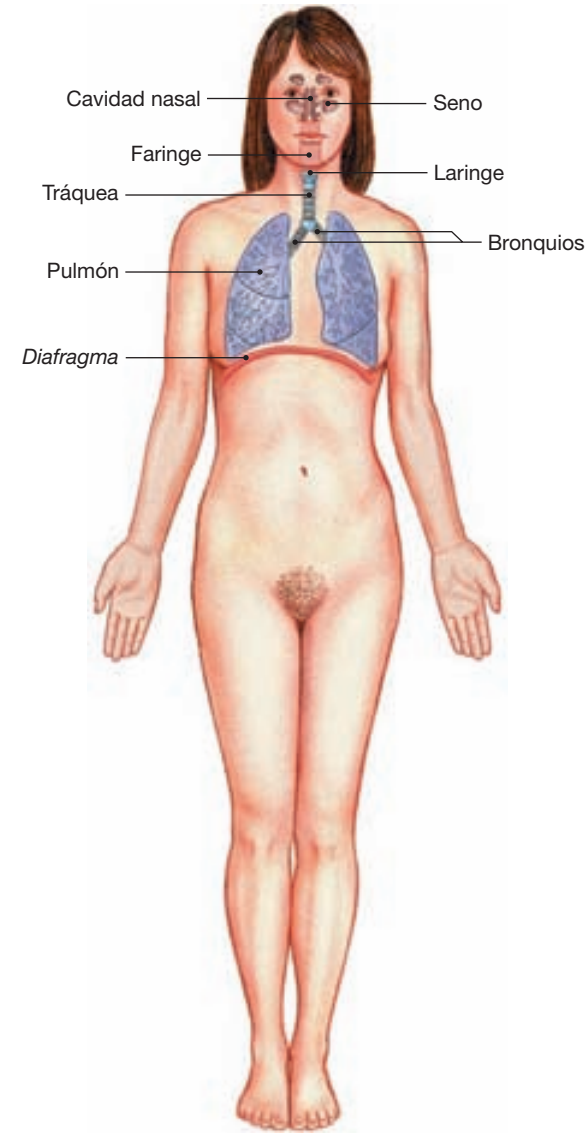
Órgano/componente	Funciones principales
CORAZÓN	Lanza la sangre; mantiene la presión arterial
VASOS SANGUÍNEOS	Distribuyen la sangre por todo el cuerpo
Arterias	Llevan la sangre desde el corazón hasta los capilares
Capilares	Permiten el proceso de difusión entre la sangre y los líquidos intersticiales
Venas	Devuelven la sangre desde los capilares hasta el corazón
SANGRE	Transporta oxígeno, dióxido de carbono y células sanguíneas; distribuye nutrientes y hormonas; retira los residuos; contribuye a la regulación de la temperatura y a la defensa contra la enfermedad



(g) Sistema linfático

Defiende contra las infecciones y las enfermedades; devuelve el líquido intersticial al torrente circulatorio

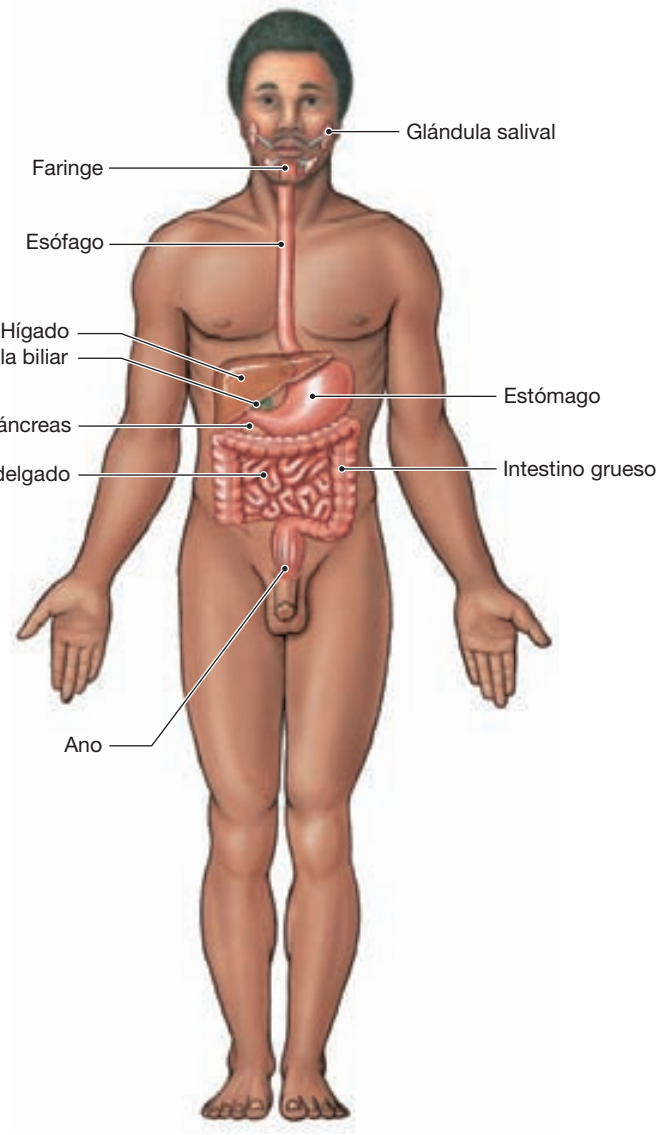
Órgano/componente	Funciones principales
VASOS LINFÁTICOS	Llevan linfa (agua más proteínas) y linfocitos desde los tejidos periféricos hasta las venas del aparato cardiovascular
GANGLIOS LINFÁTICOS	Vigilan la composición de la linfa; engloban los patógenos; estimulan la respuesta inmunitaria
BAZO	Vigila la sangre circulante; engloba los patógenos y recicla los glóbulos rojos; estimula la respuesta inmunitaria
TIMO	Controla el desarrollo y el mantenimiento de una clase de los linfocitos (T)



(h) Aparato respiratorio

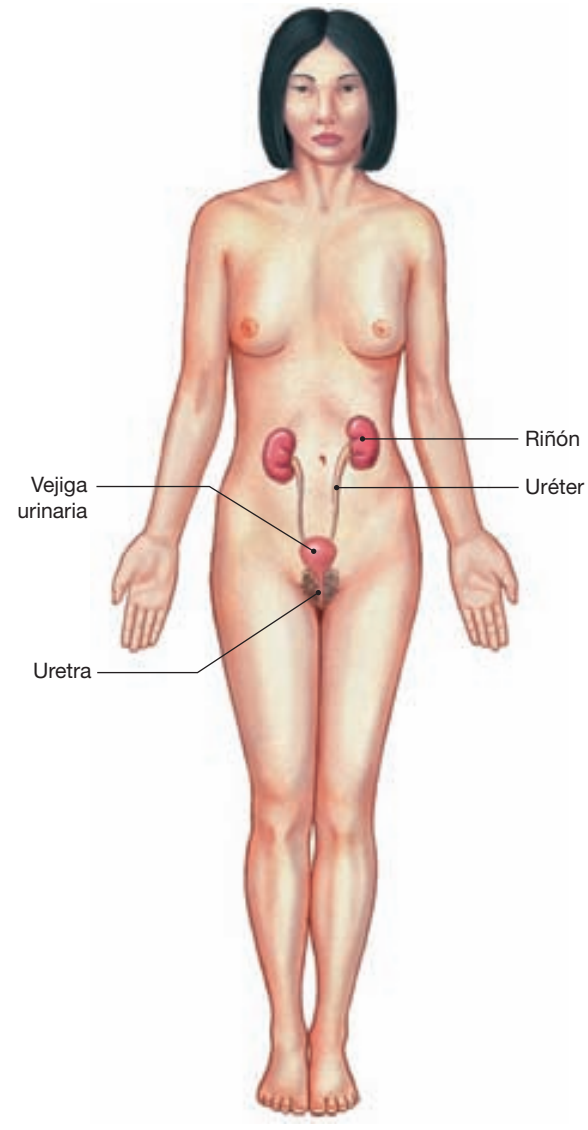
Distribuye el aire hacia aquellos lugares donde pueda ocurrir el intercambio de gases con la sangre circulante

Órgano/componente	Funciones principales
CAVIDADES NASALES, SENOS PARANASALES	Filtran el aire, lo calientan, lo humedecen; detectan los olores
FARINGE	Conduce el aire hasta la laringe; cavidad compartida con el tubo digestivo *(v. figura 1.6i)*
LARINGE	Protege la abertura a la tráquea y contiene las cuerdas vocales
TRÁQUEA	Filtra el aire, atrapa las partículas en el moco; los cartílagos mantienen abiertas las vías respiratorias
BRONQUIOS	(Idénticas funciones que la tráquea) siguiendo los cambios de volumen
PULMONES	Responsables de los desplazamientos del aire durante el movimiento de las costillas y el diafragma; constan de vías respiratorias y alvéolos
Alvéolos	Actúan como el lugar de intercambio gaseoso entre el aire y la sangre



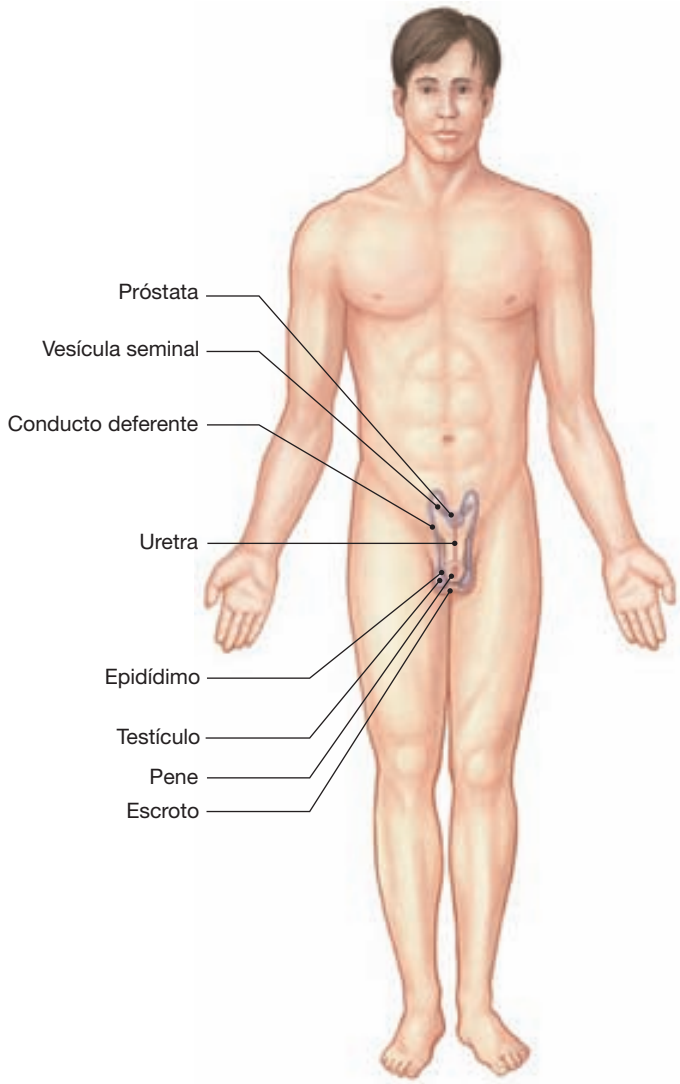
(i) Aparato digestivo
Transforma los alimentos y absorbe los nutrientes

Órgano/componente	Funciones principales
BOCA	Receptáculo para la comida; actúa junto a otras estructuras asociadas (dientes, lengua) para dividir el alimento y enviar la comida y los líquidos hacia la faringe
GLÁNDULAS SALIVALES	Sirven para tamponar y lubricar; producen enzimas que comienzan la digestión
FARINGE	Conduce los alimentos sólidos y líquidos hasta el esófago; cavidad compartida con las vías respiratorias *(v. figura 1.6h)*
ESÓFAGO	Lleva la comida hasta el estómago
ESTÓMAGO	Segrega ácidos y enzimas
INTESTINO DELGADO	Segrega enzimas digestivas, tampones y hormonas; absorbe los nutrientes
HÍGADO	Segrega bilis; regula la composición de nutrientes en la sangre
VESÍCULA BILIAR	Almacena y concentra la bilis para su liberación hacia el intestino delgado
PÁNCREAS	Segrega enzimas digestivas y tampones; contiene células endocrinas *(v. figura 1.6 e)*
INTESTINO GRUESO	Retira agua de las heces; almacena residuos



(j) Aparato urinario
Elimina el exceso de agua, sales y residuos

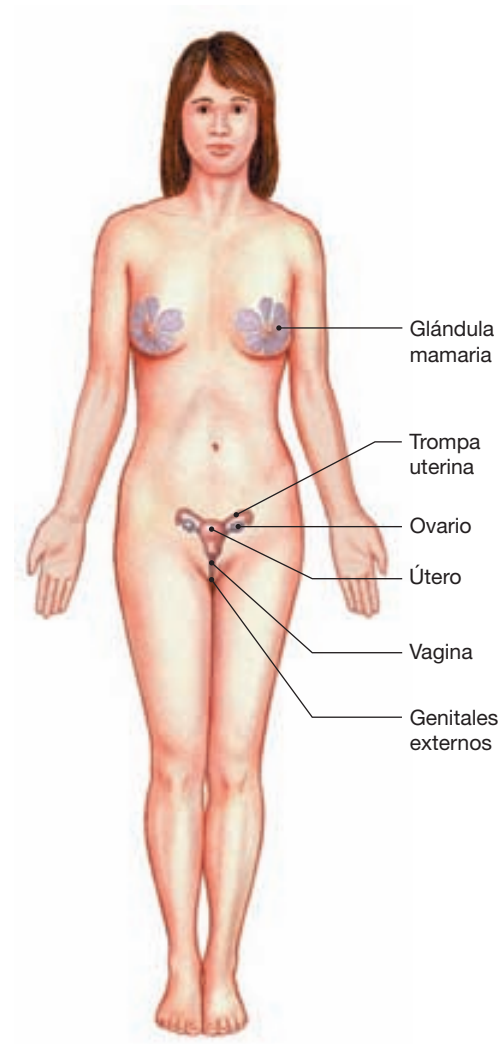
Órgano/componente	Funciones principales
RIÑONES	Producen y concentran la orina; regulan el pH y las concentraciones iónicas de la sangre; cumplen funciones endocrinas *(v. figura 1.6e)*
URÉTERES	Conducen la orina desde los riñones hasta la vejiga urinaria
VEJIGA URINARIA	Almacena la orina para su eliminación final
URETRA	Conduce la orina hasta el exterior



(k) Aparato reproductor masculino

Produce células sexuales y hormonas

Órgano/componente	Funciones principales
TESTÍCULOS	Producen espermatozoides y hormonas *(v. figura 1.6e)*
ÓRGANOS AUXILIARES	
Epidídimo	Actúa como lugar para la maduración de los espermatozoides
Conducto deferente	Conduce los espermatozoides desde el epidídimo y se fusiona con el conducto de la vesícula seminal
Vesículas seminales	Segregan un líquido que forma una gran parte del volumen del semen
Próstata	Segrega líquido y enzimas
Uretra	Conduce el semen hasta el exterior
GENITALES EXTERNOS	
Pene	Contiene tejido eréctil; deposita los espermatozoides en la vagina de la mujer; produce sensaciones placenteras durante las actividades sexuales
Escroto	Rodea a los testículos y controla su temperatura



(l) Aparato reproductor femenino

Produce células sexuales y hormonas; acoge el desarrollo embrionario desde la fecundación hasta el parto

Órgano/componente	Funciones principales
OVARIOS	Producen ovocitos y hormonas *(v. figura 1.6e)*
TROMPAS DE FALOPIO (UTERINAS)	Llevan el ovocito o el embrión hasta el útero; lugar normal de la fecundación
ÚTERO	Lugar de desarrollo embrionario e intercambio entre la circulación sanguínea materna y embrionaria
VAGINA	Lugar de depósito para los espermatozoides; llegado el momento, actúa como vía del parto; proporciona un conducto de salida para los líquidos durante la menstruación
GENITALES EXTERNOS	
Clítoris	Contiene tejido eréctil; produce sensaciones placenteras durante las actividades sexuales
Labios	Contienen glándulas que lubrican la entrada a la vagina
GLÁNDULAS MAMARIAS	Producen la leche que nutre al recién nacido

- **Crecimiento y diferenciación:** A lo largo de la vida, los organismos crecen, es decir, aumentan de tamaño al ampliar las dimensiones o el número de sus células. En los seres pluricelulares, cada célula se especializa en el cumplimiento de unas funciones determinadas. Esta especialización se denomina **diferenciación.** El crecimiento y la diferenciación experimentados por las células y los organismos muchas veces introduce cambios en su forma y en su función. Por ejemplo, las proporciones anatómicas y las capacidades fisiológicas de un humano adulto son bastante diferentes a las de un recién nacido.
- **Reproducción:** Los organismos se reproducen, dan lugar a una nueva generación de su misma clase, sean unicelulares o pluricelulares.
- **Movimiento:** Los organismos son capaces de producir movimientos, que pueden ser internos (transporte de los alimentos, la sangre u otras sustancias dentro del cuerpo) o externos (desplazamiento a través del medio).
- **Metabolismo y excreción:** Los organismos realizan complejas reacciones químicas que les suministran la energía para la reactividad, el crecimiento, la reproducción y el movimiento. También tienen que sintetizar complejos químicos, por ejemplo proteínas. El término **metabolismo** alude a todas las actividades químicas que suceden dentro del cuerpo: *catabolismo* es la descomposición de las moléculas complejas en otras más simples, y *anabolismo,* la síntesis de moléculas complejas a partir de las más simples. El funcionamiento metabólico normal requiere la **absorción** de sustancias desde el medio. Para generar energía con eficiencia, la mayoría de las células necesitan diversos nutrientes, así como oxígeno, un gas presente en la atmósfera. El término **respiración** designa la absorción, transporte y utilización del oxígeno por las células. Las operaciones metabólicas suelen originar residuos que son innecesarios o incluso nocivos en potencia y han de eliminarse a través del proceso de la **excreción.**

En los organismos muy pequeños, la absorción, la respiración y la excreción conllevan el paso de sustancias a través de las superficies que quedan al descubierto. Pero cuando estas criaturas apenas miden unos cuantos milímetros, casi nunca absorben los nutrientes directamente a partir de su entorno. Por ejemplo, los seres humanos no son capaces de absorber filetes, manzanas o helados sin más: antes deben modificar la estructura química de la comida. Esa transformación, denominada **digestión,** sucede en zonas especializadas donde los alimentos complejos se descomponen en unos ingredientes más sencillos que puedan absorberse sin dificultades. La respiración y la excreción también son más complicadas en los organismos grandes, y disponemos de unos órganos especializados responsables del intercambio gaseoso (los pulmones) y de la excreción de desechos (los riñones). Por último, como la absorción, la respiración y la excreción se producen en zonas corporales diferentes, debe existir un sistema de transporte interno, o **aparato cardiovascular.**

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué sistema contiene las siguientes estructuras: glándulas sudoríparas, uñas y folículos pilosos?
2. ¿Qué sistema posee estructuras que cumplen las siguientes funciones: producción de hormonas y óvulos, asiento para el desarrollo embrionario?
3. ¿Qué es la diferenciación?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Lenguaje anatómico [v. figura 1.7]

Después de descubrir un nuevo continente, ¿cómo empezaría a recopilar la información para poder transmitir sus hallazgos? Tendría que elaborar un mapa detallado del territorio, que una vez acabado contendría: 1) los hitos más destacados, como montañas, valles o volcanes; 2) la distancia entre ellos, y 3) la dirección seguida para ir de un lugar a otro. Las distancias podrían consignarse en kilómetros y las direcciones anotarse como las orientaciones de una brújula (norte, sur, nordeste, sudoeste, etc.). Con este mapa, cualquier persona podría llegar directamente a un punto concreto de ese continente.

Los primeros anatomistas afrontaron unos problemas de comunicación similares. La afirmación de que un bulto está «en la espalda» no aporta una información muy precisa acerca de su localización. Por esa razón, los anatomistas crearon mapas del cuerpo humano. Los hitos corresponden a las estructuras anatómicas más sobresalientes, y las distancias se miden en centímetros o pulgadas. En efecto, la anatomía utiliza un lenguaje especial que se debe aprender desde el principio. Este proceso llevará un cierto tiempo y determinados sacrificios, pero resulta absolutamente esencial si desea evitar una situación como la recogida en la **figura 1.7**.

Con el avance de la tecnología, continúan apareciendo nuevos términos anatómicos, pero muchas de las palabras y frases más antiguas se siguen usando. Por consiguiente, el vocabulario de esta ciencia constituye una especie de registro histórico. Las palabras y frases latinas y griegas forman la base de una cantidad impresionante de términos anatómicos. Por ejemplo, muchos de los nombres latinos asignados a una estructura específica hace 2.000 años todavía se utilizan en la actualidad.

La adquisición de una familiaridad con las raíces latinas y su estructura facilita la comprensión de los términos anatómicos, y las notas que se ofrecen sobre el origen de las palabras están pensadas como una ayuda a este respecto. En castellano, si se quiere indicar más de un objeto, suele añadirse una *s* al nombre *(niña/niñas* o *muñeca/muñecas).* Las palabras latinas varían su desinencia. Las que acaban en *-us* se convierten en *-i,* y otros cambios suponen la sustitución de *-um* por *-a,* y de *-a* por *-ae.* En la p. 822 del apéndice puede consultarse más información sobre las raíces, los prefijos, los sufijos y los elementos compositivos de las palabras extranjeras.

Los términos latinos y griegos no son los únicos de origen foráneo importados al vocabulario anatómico a lo largo de los siglos. Muchas estructuras anatómicas y procesos clínicos en un primer momento recibieron su denominación a partir de su descubridor o, en el caso de las enfermedades, de su víctima más famosa. El principal problema de esta costumbre es que a cualquier persona le cuesta recordar una conexión entre la estructura o el trastorno y su denominación. Durante los 100 últimos años, la mayoría de estos nombres conmemorativos, o *epónimos,* se han sustituido por términos más precisos. Para los interesados en los detalles históricos, el apéndice titulado «Epónimos de uso habitual» ofrece información acerca de los nombres conmemorativos de uso esporádico en la actualidad.

¿Dolor de barriga?
¿Puede ser un cálculo renal pequeño?
…O, tirando hacia dentro, y bajando alrededor del ombligo, una especie de pupa…

Figura 1.7 Importancia de un vocabulario preciso
¿Le gustaría ser este paciente? *[©The New Yorker Collection 1990 Ed Fisher de cartoonbank.com. Todos los derechos reservados.]*

Anatomía de superficie

La familiaridad obtenida con los principales detalles anatómicos y con las referencias de dirección facilitará la comprensión de los siguientes capítulos, ya que ninguno de los sistemas orgánicos excepto el tegumentario puede verse desde la superficie del cuerpo. Se deben crear unos mapas mentales individuales y extraer información de las ilustraciones anatómicas que acompañan a la exposición.

Referencias anatómicas [v. figura 1.8]

En la **figura 1.8** se ofrecen los puntos anatómicos más importantes. Conviene familiarizarse con el término anatómico y además con su forma adjetiva. La comprensión de las expresiones y de su origen le ayudará a recordar la localización de una estructura determinada, así como su nombre. Por ejemplo, el término **braquial** se refiere al brazo, y en los capítulos posteriores se explica el *músculo braquial* y las ramas de la *arteria braquial.*

Las ilustraciones anatómicas habituales muestran la forma del ser humano en **posición anatómica.** Así, la persona está de pie con las piernas juntas y los pies apoyados sobre el suelo. Las manos quedan colocadas a ambos lados y sus palmas miran hacia adelante. El individuo que aparece en la **figura 1.8** está en posición anatómica, visto de frente (**v. figura 1.8a**) y de espaldas (**v. figura 1.8b**). La posición anatómica es el patrón utilizado en el lenguaje de la anatomía para su comunicación a cualquier nivel, desde el más básico hasta el clí-

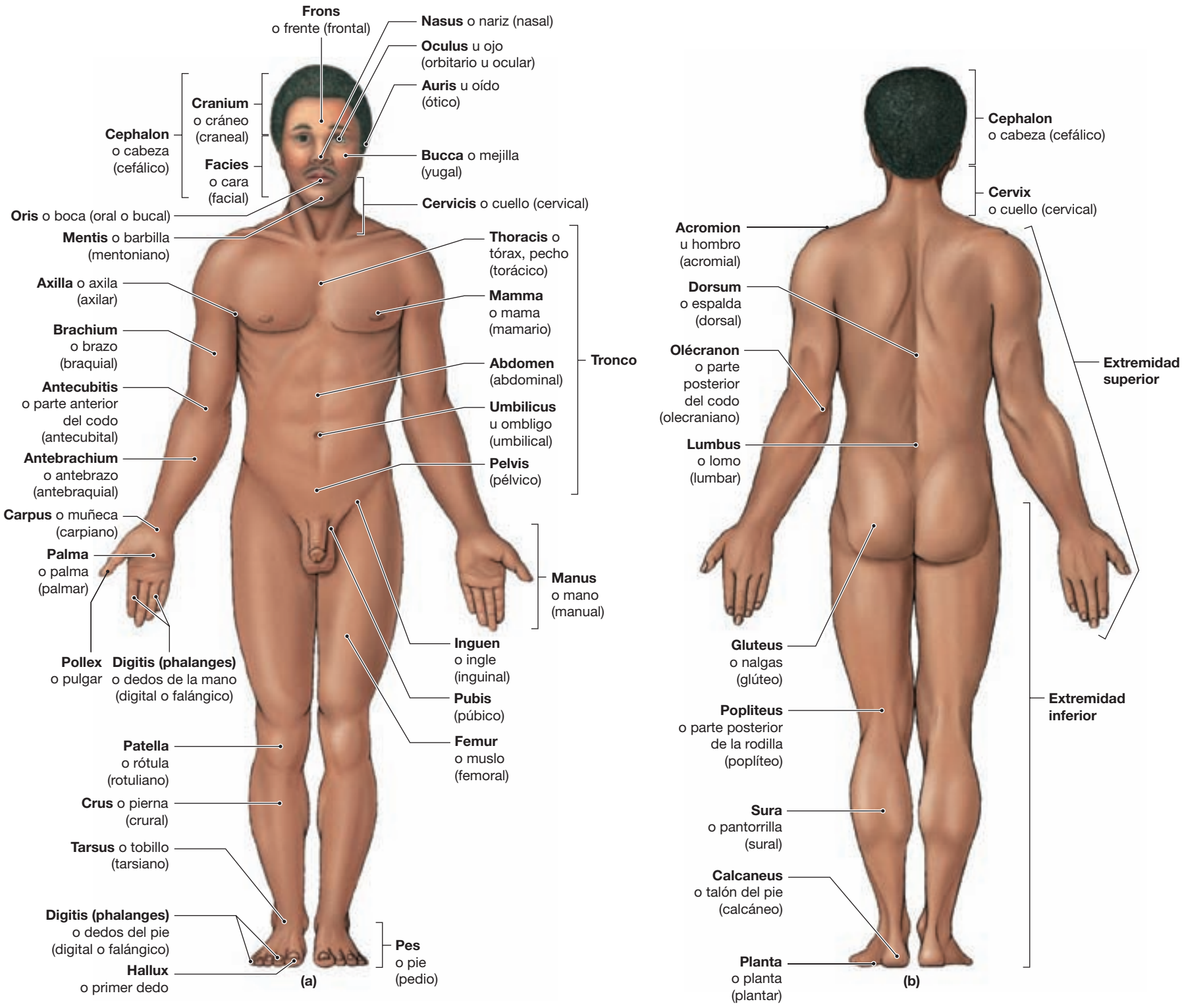


Figura 1.8 Detalles anatómicos
Los términos anatómicos aparecen en negrita, los nombres corrientes en redonda y los adjetivos anatómicos entre paréntesis. **(a)** Vista anterior en posición anatómica. **(b)** Vista posterior en posición anatómica.

TABLA 1.1 Regiones del cuerpo humano*

Nombre anatómico	Región anatómica	Zona indicada
Cephalon	Cefálica	Zona de la cabeza
Cervix	Cervical	Zona del cuello
Thoracis	Torácica	Pecho
Brachium	Braquial	Segmento de la extremidad superior más próximo al tronco; brazo
Antebrachium	Antebraquial	Antebrazo
Carpus	Carpiana	Muñeca
Manus	Manual	Mano
Abdomen	Abdominal	Abdomen
Pelvis	Pélvica	Pelvis (en general)
Pubis	Púbica	Parte anterior de la pelvis
Inguen	Inguinal	Ingle (pliegue entre el muslo y el tronco)
Lumbus	Lumbar	Parte inferior de la espalda
Gluteus	Glútea	Nalgas
Femur	Femoral	Muslo
Patella	Rotuliana	Rótula
Crus	Crural	Pierna, desde la rodilla hasta el tobillo
Sura	Sural	Pantorrilla
Tarsus	Tarsiana	Tobillo
Pes	Pedia	Pie
Planta	Plantar	Región plantar del pie

*Véanse figuras 1.8 y 1.9.

nico. Por tanto, mientras no se indique lo contrario, todas las descripciones contenidas en este texto se refieren al cuerpo en posición anatómica. Una persona tumbada en posición anatómica se dice que está en **decúbito supino** cuando su cara mira hacia arriba y en **decúbito prono** cuando mira hacia abajo.

Regiones anatómicas [v. figuras 1.8/1.9 y tabla 1.1]

En la tabla 1.1 se señalan las principales regiones corporales. También se recogen en la **figura 1.8**, además de otras regiones y algunos detalles anatómicos. Los anatomistas y los clínicos suelen emplear términos particulares especializados para nombrar una zona específica en la región abdominal o pélvica. Existen dos métodos distintos de hacerlo. Uno de ellos recurre a los **cuadrantes abdominopélvicos.** La superficie abdominopélvica se divide en cuatro segmentos mediante un par de líneas imaginarias (una horizontal y otra vertical) que se cruzan en el *ombligo*. Este procedimiento tan sencillo, ofrecido en la **figura 1.9a**, proporciona una referencia útil para describir los dolores y las heridas. Esta localización puede servirle al médico para determinar su causa más probable; por ejemplo, una hipersensibilidad en el cuadrante inferior derecho (CID) es

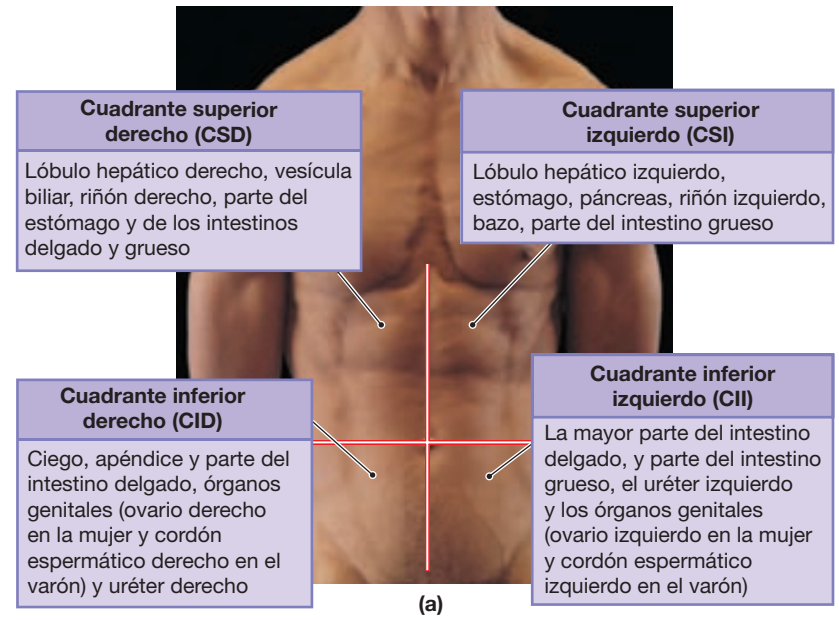

Cuadrante superior derecho (CSD)
Lóbulo hepático derecho, vesícula biliar, riñón derecho, parte del estómago y de los intestinos delgado y grueso
Cuadrante superior izquierdo (CSI)
Lóbulo hepático izquierdo, estómago, páncreas, riñón izquierdo, bazo, parte del intestino grueso
Cuadrante inferior derecho (CID)
Ciego, apéndice y parte del intestino delgado, órganos genitales (ovario derecho en la mujer y cordón espermático derecho en el varón) y uréter derecho
Cuadrante inferior izquierdo (CII)
La mayor parte del intestino delgado, y parte del intestino grueso, el uréter izquierdo y los órganos genitales (ovario izquierdo en la mujer y cordón espermático izquierdo en el varón)
(a)
Región del hipocondrio derecho
Región epigástrica
Región del hipocondrio izquierdo
Región lumbar derecha
Región umbilical
Región lumbar izquierda
Región inguinal derecha
Región hipogástrica
Región inguinal izquierda
(b)
Hígado
Vesícula biliar
Intestino grueso
Intestino delgado
Apéndice
Estómago
Bazo
Vejiga urinaria
(c)

Figura 1.9 Cuadrantes y regiones abdominopélvicas
La superficie abdominopélvica está separada en sectores para identificar los detalles anatómicos con mayor claridad y delimitar la localización de los órganos contenidos con mayor precisión. **(a)** Los cuadrantes abdominopélvicos dividen esta zona en cuatro porciones. Sus términos, o las abreviaturas, reciben un uso mayor en los textos clínicos. **(b)** La referencia a la región abdominopélvica correspondiente ofrece unas descripciones anatómicas más precisas. **(c)** Los cuadrantes o las regiones son útiles porque los detalles anatómicos de la superficie guardan una relación conocida con los órganos subyacentes.

un síntoma de apendicitis, mientras que en el cuadrante superior derecho (CSD) puede indicar problemas vesiculares o hepáticos. Para describir con mayor precisión la ubicación y la orientación de los órganos internos se emplean unas distinciones regionales. Hay nueve **regiones abdominopélvicas,** recogidas en la **figura 1.9b**. La **figura 1.9c** muestra la relación entre los cuadrantes, las regiones y los órganos internos.

Direcciones anatómicas [v. figura 1.10 y tabla 1.2]

La **figura 1.10** y la tabla 1.2 ofrecen los principales términos referidos a las direcciones y unos ejemplos sobre su uso. Existen muchos nombres diferentes, y algunos pueden utilizarse de manera intercambiable. Al aprenderlos, es importante recordar que todas estas denominaciones recurren a la posición anatómica como patrón de referencia habitual. Por ejemplo, *anterior* designa la parte delantera del cuerpo; en el humano, este término es equivalente a *ventral,* lo que en realidad alude a la zona del vientre. Aunque el profesor pueda emplear un vocabulario mayor, en la tabla 1.2 se han resaltado las expresiones que aparecen más a menudo en los capítulos posteriores. Para seguir cualquier descripción anatómica, es útil acordarse de que las palabras *izquierdo* y *derecho* se refieren siempre a los lados izquierdo y derecho del individuo, no del observador. También debería fijarse en que a pesar de que algunos términos de referencia sean equivalentes, como *posterior* y *dorsal,* o *anterior* y *ventral,* en las descripciones anatómicas se utilizan formando parejas de opuestos. Por ejemplo, en una explicación las direcciones hablarán de lo posterior frente a lo anterior, o de lo dorsal frente a lo ventral. Por último, hay que ser consciente de que algunos términos de referencia mencionados en la tabla 1.2 no se emplean en la anatomía veterinaria o poseen un significado diferente.

Anatomía seccional

A veces, la presentación de una estructura por cortes es la única manera de explicar las relaciones mantenidas entre las partes de un objeto tridimensional. La comprensión de este tipo de perspectiva ha cobrado cada vez mayor importancia desde el desarrollo de las

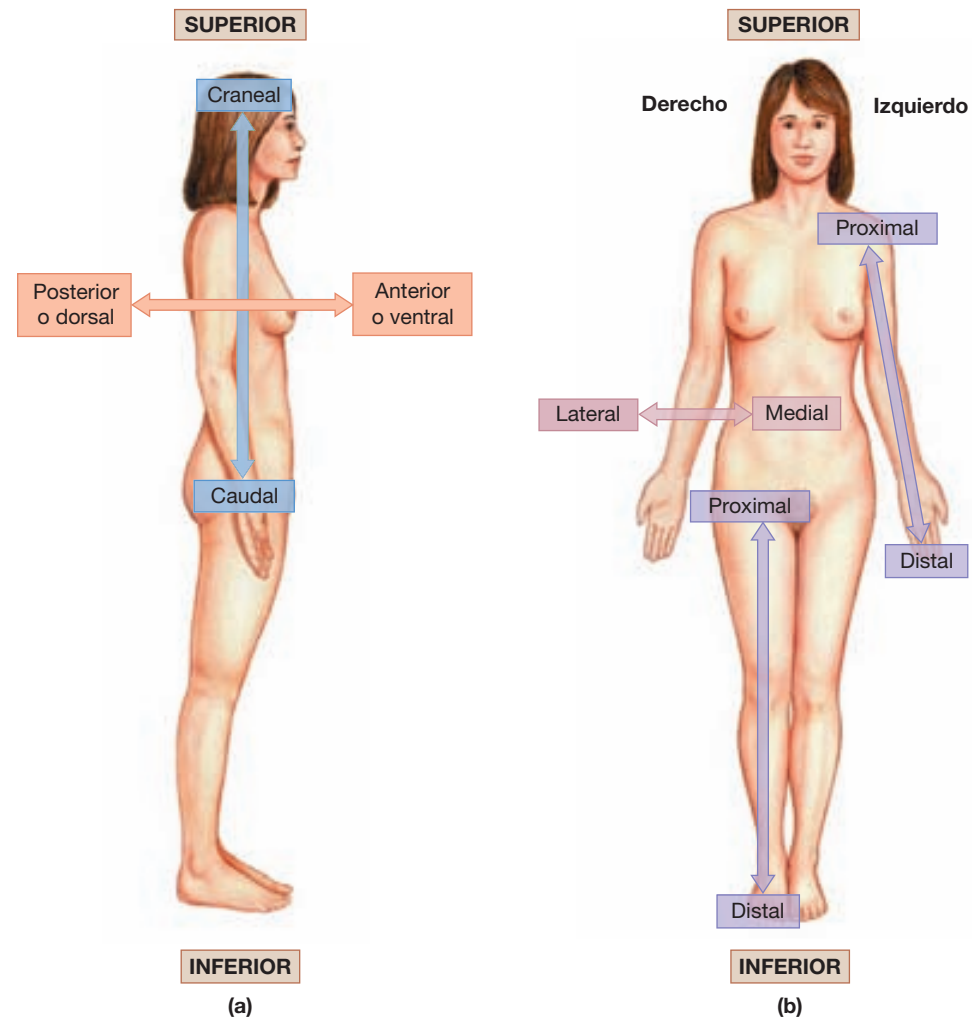


Figura 1.10 Referencias de dirección
Las referencias de dirección más importantes utilizadas en este texto están indicadas con flechas; en la tabla 1.2 se recogen sus definiciones y su descripción. **(a)** Vista lateral. **(b)** Vista anterior.

TABLA 1.2 Términos regionales y de dirección (v. figura 1.10)

Término	Región de referencia	Ejemplo
Anterior	Parte delantera; adelante	El ombligo está en la cara *anterior* del tronco.
Ventral	Hacia el lado del vientre (equivalente a anterior al referirse al cuerpo humano)	El ombligo está en la cara *ventral.*
Posterior	Parte trasera; atrás	La escápula (el omóplato) ocupa una posición *posterior* a la jaula torácica.
Dorsal	Parte trasera (equivalente a posterior al referirse al cuerpo humano)	La escápula (el omóplato) está situada en el lado *dorsal* del cuerpo.
Craneal	Más cerca de la cabeza	El borde *craneal,* o *cefálico,* de la pelvis ocupa una posición *superior* al muslo.
Cefálico	Igual que craneal	
Superior	Arriba; a un nivel más alto (en el cuerpo humano, más cerca de la cabeza)	
Caudal	Más cerca de la cola (el cóccix en el humano)	La cadera tiene una situación *caudal* a la cintura.
Inferior	Abajo; a un nivel más bajo; más cerca de los pies	Los rodillas tienen una situación *inferior* a la cadera.
Medial	Más cerca de la línea media (el eje longitudinal del cuerpo)	Las caras *mediales* de los muslos pueden estar en contacto.
Lateral	Más lejos de la línea media (el eje longitudinal del cuerpo)	El fémur se articula con la cara *lateral* de la pelvis.
Proximal	Más cerca una base de unión	El muslo es *proximal* al pie.
Distal	Más lejos de una base de unión	Los dedos son *distales* a la muñeca.
Superficial	En la superficie del cuerpo, cerca o relativamente próximo	La piel está *superficial* a las estructuras subyacentes.
Profundo	Hacia el interior del cuerpo; más lejos de la superficie	El hueso del muslo está *profundo* a los músculos estriados que lo rodean.

técnicas electrónicas de imagen que dejan ver el interior del cuerpo vivo sin necesidad de recurrir a la cirugía.

Planos y cortes (secciones) [v. figuras 1.11/1.12 y tabla 1.3]

Cualquier rodaja de un objeto tridimensional puede describirse con referencia a tres **planos de corte,** señalados en la tabla 1.3 y en la figura 1.11. El **plano transversal** forma un ángulo recto con el eje longitudinal de aquella parte del cuerpo estudiada. Los cortes obtenidos a lo largo de este plano se denominan **cortes transversales,** o *secciones transversales.* El **plano frontal,** o **plano coronal,** y el **plano sagital** son paralelos al eje longitudinal del cuerpo. El plano frontal se extiende de un lado a otro, y divide el cuerpo en una parte **anterior** y otra **posterior.** En cambio, el plano sagital va desde la zona anterior a la posterior, y lo divide en una parte *izquierda* y otra *derecha.* Los cortes que pasen por la línea media y dividan el cuerpo en una mitad izquierda y otra derecha son **cortes mediosagitales,** o **cortes sagitales** y **medios;** los que sean paralelos a la línea mediosagital son **cortes parasagitales.**

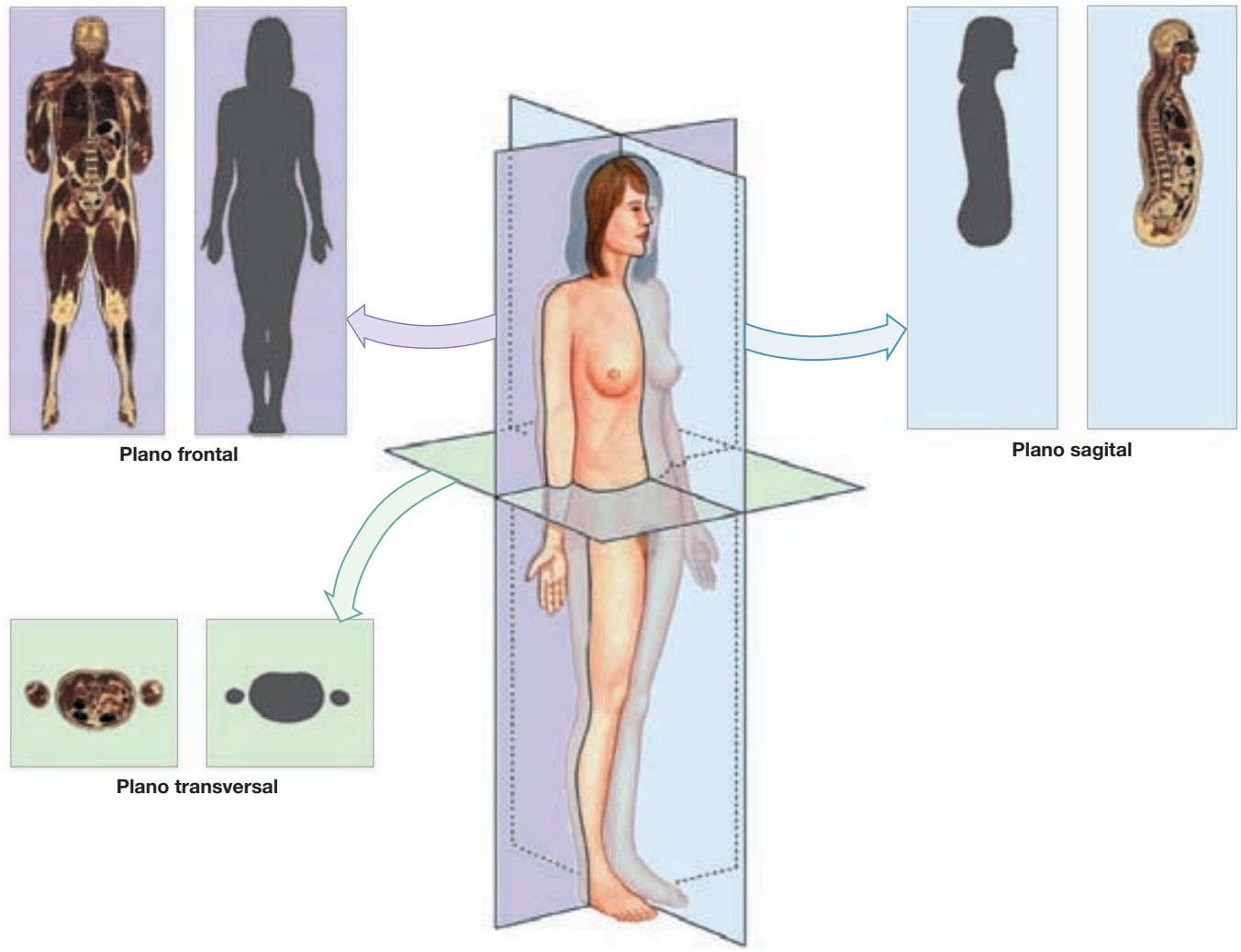


Figura 1.11 Planos de corte
Aquí aparecen indicados los tres planos de corte fundamentales. Las imágenes fotográficas proceden de la base de datos *Visible Human,* descrita en la página 18. En la tabla 1.3 se definen y se describen estos términos.

TABLA 1.3 Términos que indican los planos de corte (v. figura 1.11)

Orientación del plano	Adjetivo	Término de dirección	Descripción
Perpendicular al eje mayor	Transversal, horizontal o por cortes	Transversal u horizontalmente	Un *corte transversal,* u *horizontal,* separa una porción superior de otra inferior en el cuerpo; habitualmente pasa por las regiones de la cabeza y el tronco.
Paralelo al eje mayor	Sagital	Sagitalmente	Un *corte sagital* separa una porción derecha de otra izquierda. El examen de un corte sagital sigue a una división también sagital.
	Mediosagital		En un *corte mediosagital,* el plano atraviesa la línea media, divide el cuerpo en dos mitades y lo separa en un lado derecho y otro izquierdo.
	Parasagital		Un *corte parasagital* no atraviesa la línea media y separa una parte derecha de otra izquierda con un tamaño desigual.
	Frontal o coronal	Frontal o coronalmente	Un *corte frontal,* o *coronal,* separa una porción anterior de otra posterior en el cuerpo; suelen llamarse coronales los cortes que pasan a través del cráneo.

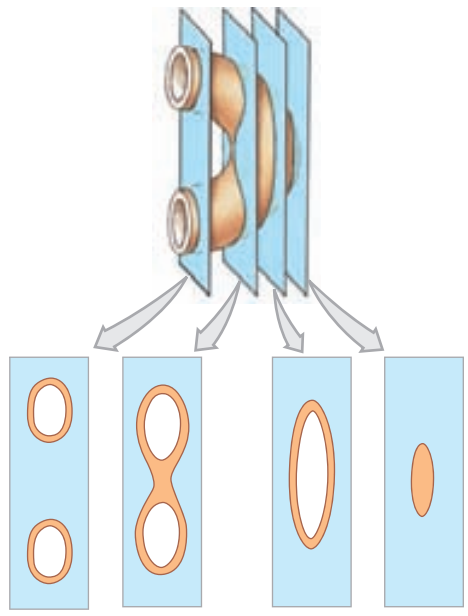


Figura 1.12 Planos de corte y visualización
Aquí hemos efectuado cortes en serie de un tubo en curva, como el fragmento de un codito de pasta. Fíjese en cómo cambian sus imágenes a medida que se acerca la curva; al mirar las preparaciones en un microscopio, hay que tener en cuenta los efectos del corte. Este hecho también repercute sobre el aspecto que adquieren los órganos internos al observarlos en una vista de corte, mediante una TC o una RM (v. p. 22). Por ejemplo, aunque sea un tubo simple, el intestino delgado puede parecer como un par de tubos, una pesa, un óvalo o un punto, según el lugar del que proceda el corte.

A veces es útil comparar la información facilitada por cortes realizados siguiendo planos diferentes. Cada plano de corte ofrece una perspectiva distinta sobre la estructura del cuerpo; al combinarlos con las observaciones acerca de la anatomía externa, generan un panorama razonablemente completo (v. «Nota clínica» a continuación). Si se elige un plano de corte y se efectúa una serie de secciones separadas por pequeños intervalos de distancia, podría lograrse una representación más exacta y completa. Este proceso, llamado **reconstrucción seriada,** permite analizar estructuras de cierta complejidad. La figura 1.12 muestra la reconstrucción seriada de un simple tubo en curva, como el fragmento de un codito de pasta. Este procedimiento podría utilizarse para visualizar la trayectoria de un pequeño vaso sanguíneo o para recorrer un asa intestinal. La reconstrucción seriada es un método importante para estudiar la estructura histológica y para analizar las imágenes obtenidas con técnicas clínicas muy modernas (v. «Nota clínica» en la p. 21).

Nota clínica

Visible Human Project El objetivo del *Visible Human Project,* financiado por la *U.S. National Library of Medicine,* ha consistido en crear un cuerpo humano exacto pero en versión informática, que pueda estudiarse y manejarse de un modo que nunca sería posible con un cuerpo real. En su forma actual, el conjunto de los datos reunidos está compuesto por las imágenes digitales correspondientes a unos cortes transversales minuciosamente preparados (por el Dr. Victor Spitzer y su equipo del *University of Colorado Health Sciences Center*) a una distancia de 1 mm en el caso del varón y de 0,33 mm en el caso de la mujer. Incluso con una «resolución relativamente baja», estos conjuntos de datos son enormes: los cortes del varón suman 14 GB y los de la mujer 40 GB. Las imágenes pueden consultarse en la página electrónica **http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html.** Posteriormente, los datos se han empleado para generar toda una colección de imágenes procesadas, como las que aparecen en la figura 1.11, así como para proyectos de enseñanza interactiva, como el *Digital Cadaver.*

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de corte separaría los dos ojos?
2. Si después de caerse se rompe el antebrazo, ¿qué parte del cuerpo queda afectada?
3. ¿Cuál es el nombre anatómico de cada una de las siguientes zonas: la ingle, las nalgas, la mano?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Cavidades corporales [v. figuras 1.13/1.14]

Visto en cortes, el cuerpo humano no es un objeto macizo, y muchos órganos vitales se encuentran suspendidos en espacios internos llamados **cavidades corporales.** Estas cavidades protegen a los órganos más delicados contra los impactos accidentales y los amortiguan frente a los golpes y sacudidas que suceden al caminar, al saltar y al correr. La **cavidad corporal ventral,** o *celoma* (*koila,* cavidad), contiene órganos pertenecientes a los aparatos respiratorio, cardiovascular, digestivo, urinario y genital. Dado que sobresalen parcial o totalmente hacia su interior, pueden producirse cambios considerables en su tamaño y en su forma sin distorsionar los tejidos que los rodean ni perturbar las actividades de los órganos adyacentes.

A medida que avanza el desarrollo, los órganos internos crecen y modifican sus posiciones relativas. Estas variaciones dan lugar a una subdivisión de la cavidad corporal ventral. En las **figuras 1.13a** y **1.14** se esquematizan las relaciones que guardan las diversas subdivisiones de esta cavidad corporal ventral. El **diafragma,** una lámina muscular en forma de cúpula, divide la cavidad corporal ventral en una *cavidad torácica* superior, rodeada por la pared del tórax, y una *cavidad abdominopélvica* inferior, rodeada por la pared del abdomen y la pelvis.

Muchos de los órganos contenidos en estas cavidades cambian de tamaño y de forma cuando ejercen sus funciones. Por ejemplo, el estómago se distiende con cada comida y el corazón se contrae y se dilata con cada latido. Estos órganos sobresalen dentro de unas cavidades internas que están humedecidas, y permiten su aumento y un pequeño movimiento, a la vez que evitan el roce. En la cavidad torácica existen tres espacios de este tipo y uno en la cavidad abdominopélvica. Los órganos internos que hacen relieve en estas cavidades se denominan **vísceras.**

Cavidad torácica Los pulmones y el corazón, órganos relacionados entre sí y pertenecientes a los aparatos respiratorio y cardiovascular y al sistema linfático, así como el timo y las porciones inferiores del esófago, están contenidos en la **cavidad torácica.** Sus límites quedan determinados por los músculos y los huesos de la pared torácica y por el diafragma, una lámina muscular que separa la cavidad torácica de la abdominopélvica (**v. figura 1.13a,c**). La cavidad torácica se encuentra subdividida en las *cavidades pleurales* izquierda y derecha, entre las que se interpone el mediastino (**v. figura 1.13a,c,d**).

Cada **cavidad pleural** contiene un pulmón. Además, están revestidas por una *serosa* brillante y resbaladiza, que reduce el rozamiento durante la distensión y la retracción pulmonar que sucede con la respiración. La serosa que tapiza las cavidades pleurales se llama *pleura.* La *pleura visceral* cubre la cara externa de los pulmones y la *pleura parietal* cubre la cara mediastínica opuesta y la pared interna del cuerpo.

El mediastino es una masa de tejido conjuntivo que rodea, estabiliza y sostiene el esófago, la tráquea y el timo, y los grandes vasos sanguíneos que nacen o desembocan en el corazón. También contiene la **cavidad pericárdica,**

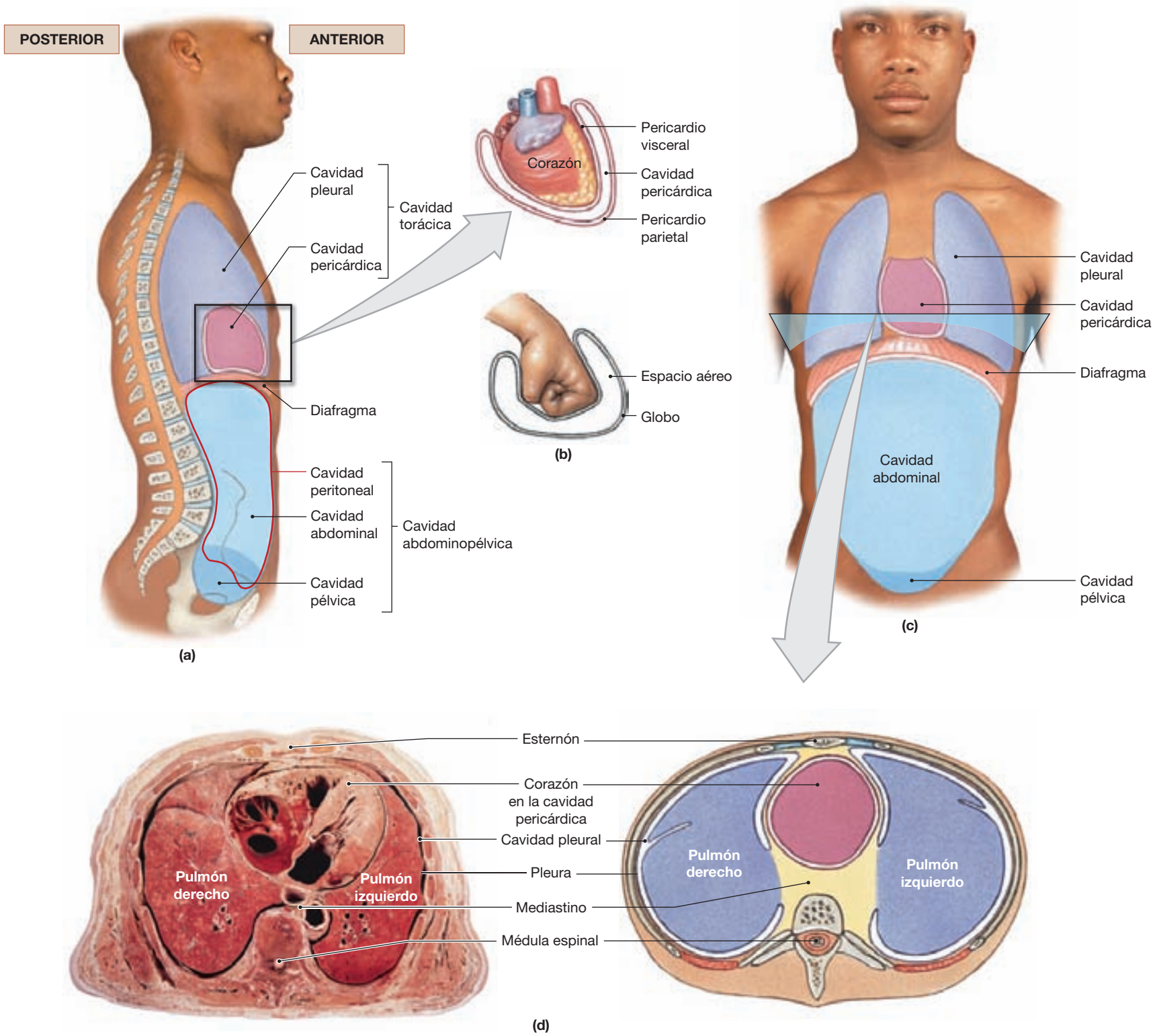


Figura 1.13 Cavidades corporales
(a) Vista lateral de las subdivisiones que componen la cavidad corporal ventral. El diafragma muscular la divide en una cavidad torácica superior (tórax) y una cavidad abdominopélvica inferior. **(b)** El corazón sobresale hacia la cavidad pericárdica como un puño que empuja un globo. **(c)** Vista anterior de la cavidad corporal ventral y sus subdivisiones. **(d)** Vista de un corte de la cavidad torácica. Mientras no se señale lo contrario, todas las imágenes de los cortes se ofrecen desde una visión inferior. (V. «Nota clínica» en las pp. 21-23 para mayor detalle.)

un pequeño espacio en torno al corazón (**v. figura 1.13d**). La relación entre el corazón y la cavidad pericárdica se parece a la de un puño que empuje un globo hacia dentro (**v. figura 1.13b**). La muñeca corresponde a la base (porción fija) del corazón, y el globo a la serosa que reviste la cavidad pericárdica. La serosa que reviste el corazón se denomina **pericardio** *(peri,* alrededor + *kardia,* corazón). La capa que lo recubre es el *pericardio visceral,* y la cara opuesta corresponde al *pericardio parietal.* Con cada latido, el corazón cambia de tamaño y de forma. La cavidad pericárdica permite que se realice este proceso y el revestimiento pericárdico deslizante evita el rozamiento entre el corazón y las estructuras vecinas en el mediastino.

Cavidad abdominopélvica Las **figuras 1.13a** y **1.14** dejan ver que la cavidad abdominopélvica puede dividirse en una **cavidad abdominal** superior y una *cavidad pélvica* inferior. En su conjunto, este territorio contiene **la cavidad peritoneal,** un espacio interno revestido por una serosa llamada **peritoneo.** El *peritoneo parietal* tapiza la pared del cuerpo. Está separado del *peritoneo visce-*

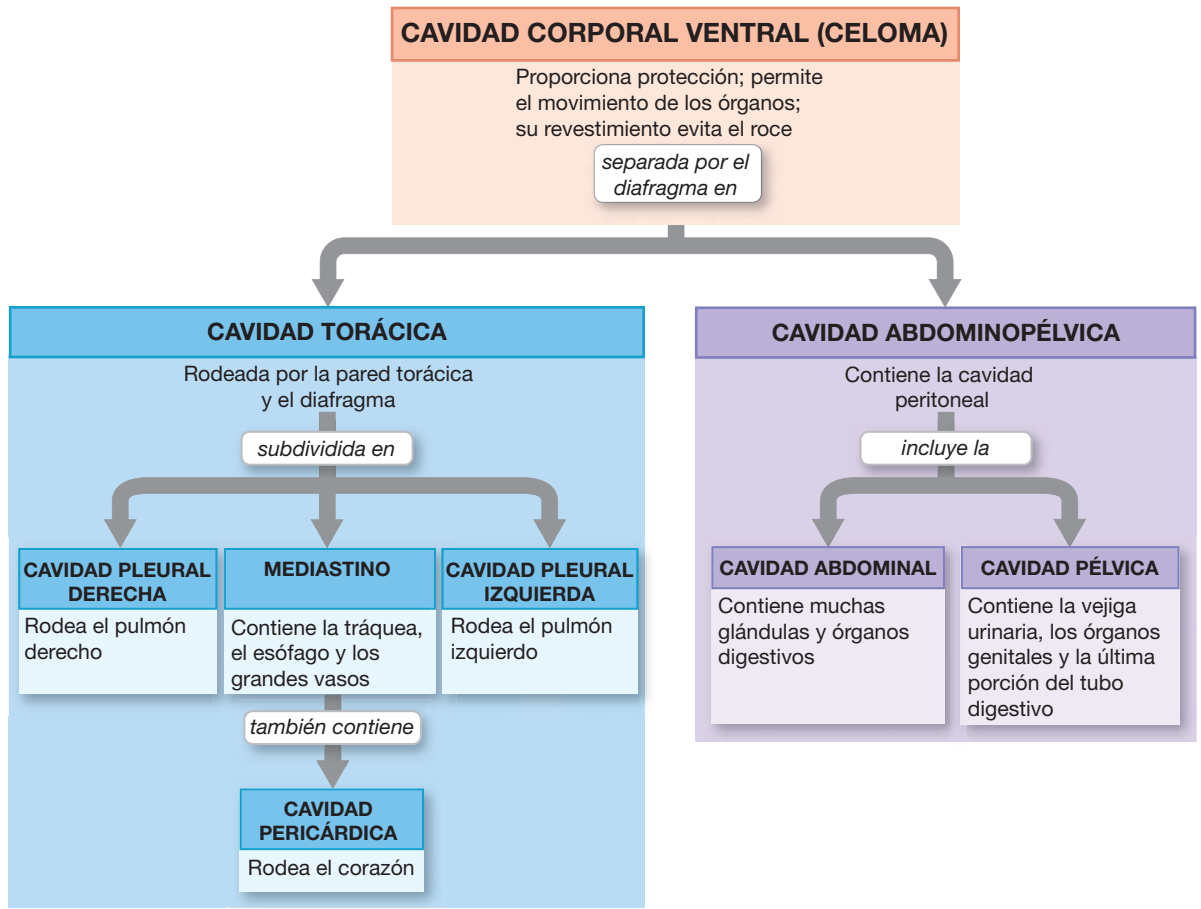

CAVIDAD CORPORAL VENTRAL (CELOMA)
Proporciona protección; permite el movimiento de los órganos; su revestimiento evita el roce
separada por el diafragma en
CAVIDAD TORÁCICA
Rodeada por la pared torácica y el diafragma
subdividida en
CAVIDAD PLEURAL DERECHA
Rodea el pulmón derecho
MEDIASTINO
Contiene la tráquea, el esófago y los grandes vasos
CAVIDAD PLEURAL IZQUIERDA
Rodea el pulmón izquierdo
también contiene
CAVIDAD PERICÁRDICA
Rodea el corazón
CAVIDAD ABDOMINOPÉLVICA
Contiene la cavidad peritoneal
incluye la
CAVIDAD ABDOMINAL
Contiene muchas glándulas y órganos digestivos
CAVIDAD PÉLVICA
Contiene la vejiga urinaria, los órganos genitales y la última porción del tubo digestivo

Figura 1.14 **Cavidad corporal ventral**
Relaciones, contenido y varias funciones de las subdivisiones que componen la cavidad corporal ventral.

ral, que recubre a los órganos encerrados en su interior, por una zona estrecha llena de líquido. Los órganos como el estómago, el intestino delgado y unas porciones del intestino grueso se encuentran suspendidos dentro de la cavidad peritoneal por una hoja doble de peritoneo, denominada **mesenterio.** Los mesenterios proporcionan sostén y estabilidad, a la vez que permiten un movimiento limitado.

- La **cavidad abdominal** se extiende desde la cara inferior del diafragma hasta un plano imaginario que pase por la cara inferior de la última vértebra y por el borde anterior y superior de la cintura pélvica. En su interior, la cavidad abdominal contiene el hígado, el estómago, el bazo, los riñones, el páncreas y el intestino delgado, además de la mayor parte del intestino grueso. (En la **figura 1.9c** de la p. 15 puede verse la posición que ocupan muchos de estos órganos.) Todos ellos sobresalen parcial o totalmente hacia la cavidad peritoneal, en líneas generales, tal como lo hacen el corazón y los pulmones hacia las cavidades pericárdica y pleural, respectivamente.
- La porción de la cavidad corporal ventral correspondiente al espacio que queda debajo de la cavidad abdominal es la **cavidad pélvica,** que está rodeada por los huesos coxales, y contiene los últimos segmentos del intestino grueso, la vejiga urinaria y varios órganos genitales. Por ejemplo, en una mujer alberga los ovarios, las trompas uterinas y el útero; en un hombre, aloja la próstata y las vesículas seminales. La cavidad peritoneal se extiende en su parte inferior hasta la cavidad pélvica. En ambos sexos, la parte superior de la vejiga urinaria está cubierta por el peritoneo, lo mismo que las trompas de Falopio, los ovarios y la parte superior del útero en las mujeres.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

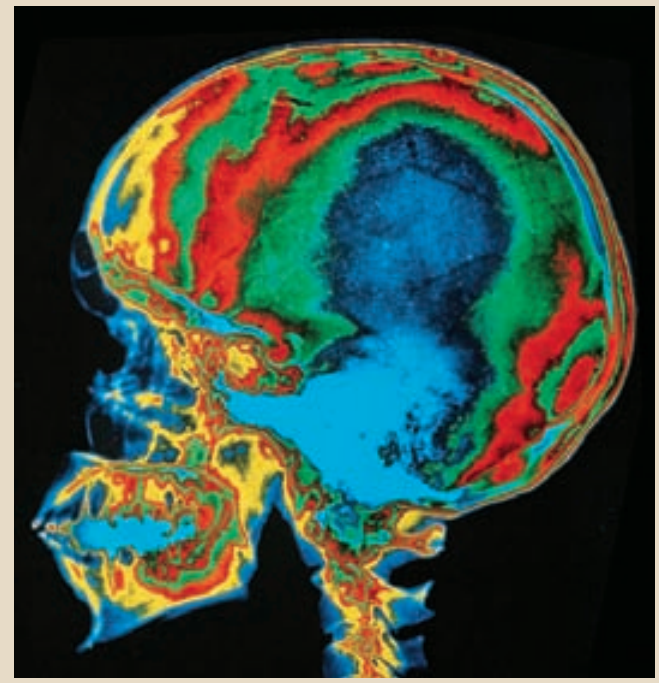
1. ¿Cuál es la función general de los mesenterios?
2. Si un cirujano realiza una incisión justo por debajo del diafragma, ¿qué cavidad corporal va a abrir?
3. Utilice un término de dirección para describir las siguientes relaciones:
   (a) Los dedos del pie son _____ al tarso.
   (b) Las caderas son _____ a la cabeza.

Véase «Respuestas» al final del libro.

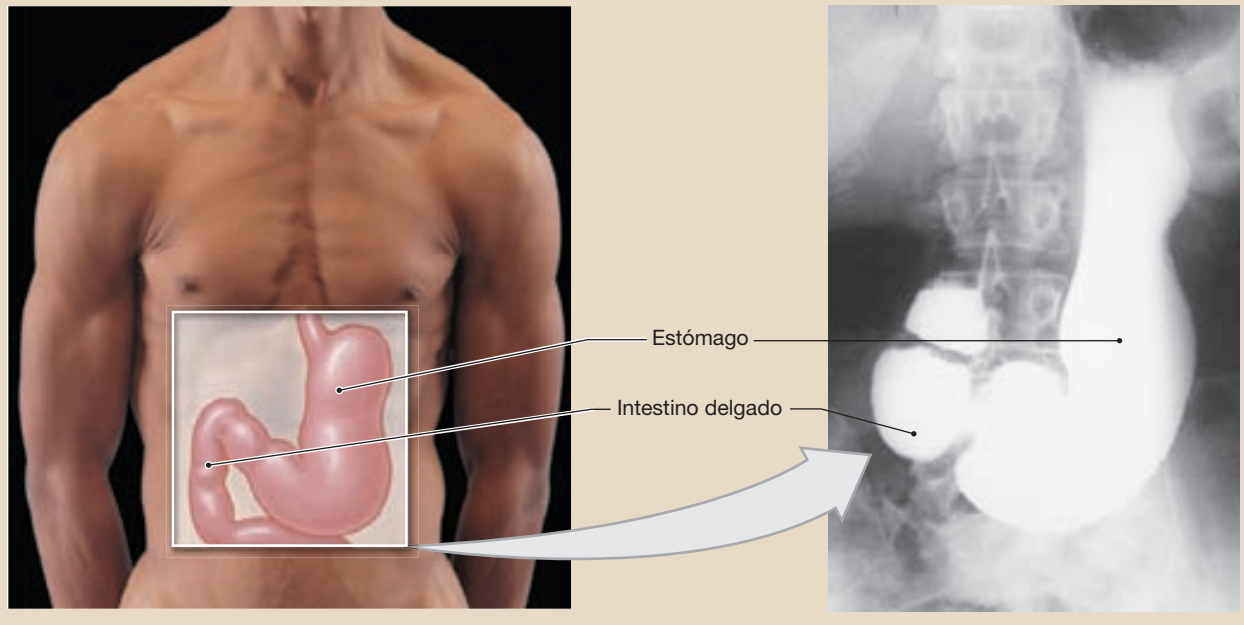
Este capítulo ha ofrecido una panorámica general sobre la localización y la función de los principales componentes que forman cada sistema orgánico, y ha presentado el vocabulario anatómico necesario si se quieren seguir las descripciones anatómicas más detalladas que recogen los capítulos posteriores. En la «Nota clínica» y la **figura 1.17** se resumen los métodos más modernos para visualizar las estructuras anatómicas en una persona viva. Una auténtica comprensión de la anatomía requiere aunar la información facilitada con las perspectivas de los cortes, con las interpretaciones gráficas basadas en ellos y en las disecciones, y con la observación directa. Este texto le aportará datos básicos, así como esquemas interpretativos, imágenes de cortes y fotografías de la «vida real». Pero en sus manos queda el proceso de integración y la adquisición de una capacidad para contemplar y visualizar las estructuras anatómicas. En el curso de su estudio, nunca olvide que cada estructura con la que tropiece ejerce una función específica. El objetivo de la anatomía no se limita a identificar y catalogar sus detalles estructurales, sino que consiste en entender la interacción entre ellas para cumplir las múltiples y variadas funciones del cuerpo humano.

Nota clínica [v. figuras 1.15/1.16/1.17]

Anatomía por cortes y tecnología clínica Los **procedimientos radiológicos** incluyen varias técnicas no invasivas que utilizan radioisótopos, radiaciones y campos magnéticos para obtener imágenes diagnósticas de las estructuras internas. Los médicos especializados en su realización y análisis se llaman **radiólogos.** Los métodos radiológicos pueden suministrar información detallada sobre los sistemas y las estructuras internas. Las figuras 1.15 a 1.17 comparan los resultados obtenidos con diversas técnicas diferentes. La mayoría producen imágenes en blanco y negro sobre una película. El color puede añadirse con un ordenador para poner de manifiesto cualquier variación sutil de contraste y de sombra. Fíjese en que si un esquema o una exploración anatómica presenta imágenes transversales, los cortes se ofrecen como si el observador estuviera situado a los pies y mirase hacia la cabeza de la persona.



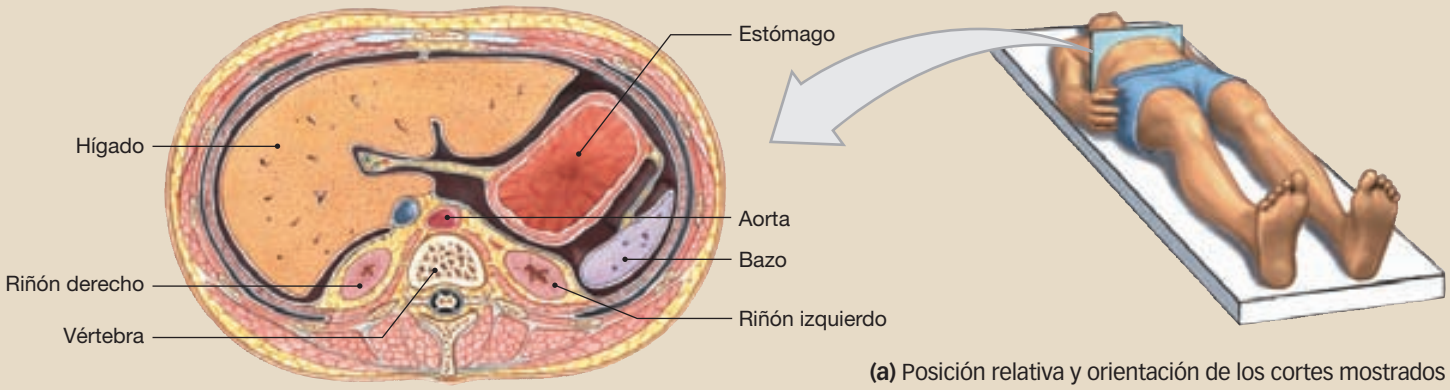
(a)



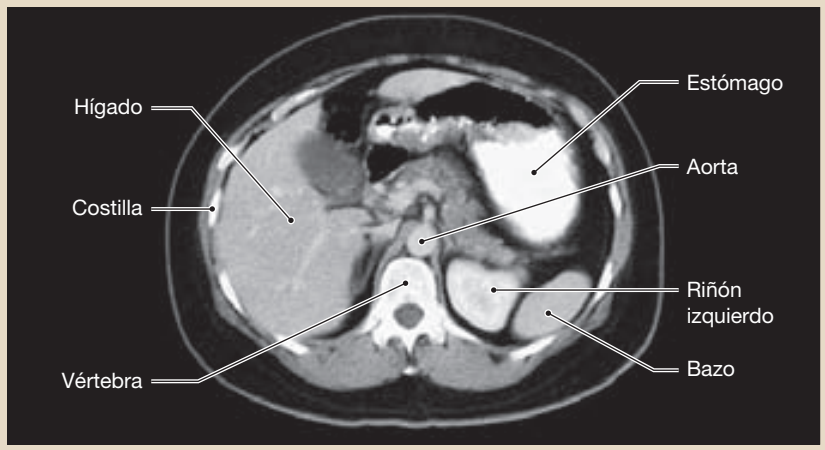
(b)

Figura 1.15 Radiografías
(a) Radiografía de cráneo y radiografía de cráneo realzada con color, tomadas desde el lado izquierdo. Los rayos X son un tipo de radiación de alta energía capaz de traspasar los tejidos vivos. En la técnica más conocida, un haz de rayos X atraviesa el cuerpo y choca contra una placa fotográfica. No todos los rayos lanzados llegan hasta la película; algunos se absorben o se desvían al pasar por el cuerpo. La resistencia a la penetración de los rayos X se denomina **radiodensidad.** En el cuerpo humano, un orden de radiodensidad creciente es el siguiente: aire, grasa, hígado, sangre, músculo, hueso. El resultado es una vista con tejidos radiodensos, como el hueso, que aparece blanco, mientras que los tejidos menos densos se observan mediante sombras que van del gris al negro. (La vista de la derecha se ha escaneado y realzado con color por medios digitales.) Una radiografía típica es una vista bidimensional de un objeto tridimensional; suele ser difícil decidir si un rasgo concreto está en el lado izquierdo (hacia el observador) o en el derecho (alejado de él).
(b) Radiografía con contraste de bario del tubo digestivo alto. El bario es muy radiodenso y los contornos de las paredes gástricas e intestinales pueden visualizarse frente al blanco correspondiente a la solución de bario.

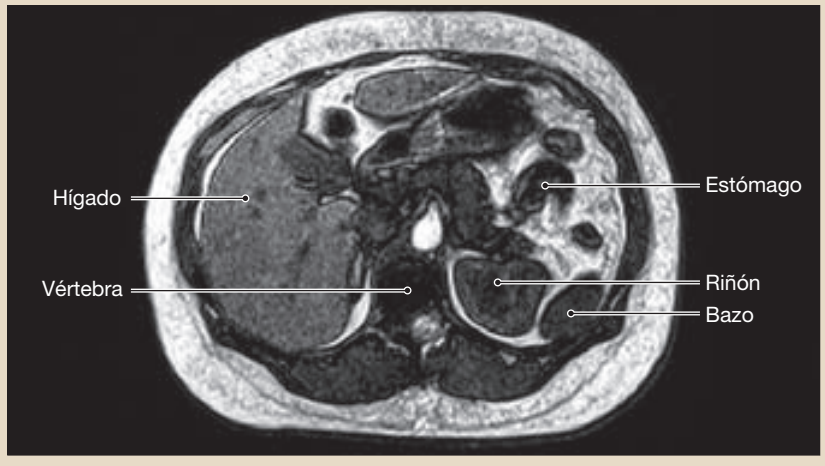
Nota clínica *(cont.)*



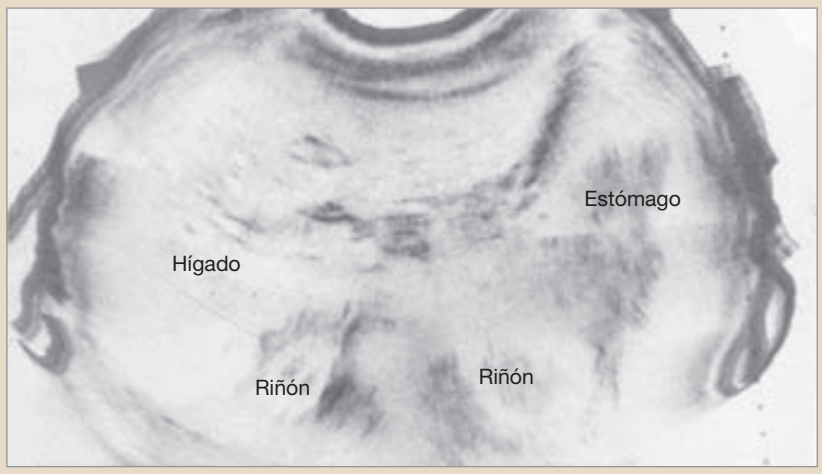
(a) Posición relativa y orientación de los cortes mostrados en las partes (b)-(d).



(b) TC abdominal. La **TC (tomografía computarizada),** antiguamente llamada **TAC (tomografía axial computarizada),** utiliza un ordenador para reconstruir las imágenes mediante cortes. Una sola fuente de rayos X gira alrededor del cuerpo, y el haz choca contra un sensor controlado por el ordenador. La fuente da una vuelta entera alrededor del cuerpo en pocos segundos; a continuación, avanza una pequeña distancia y repite el proceso. Al comparar la información obtenida en cada punto de la rotación, el ordenador reconstruye la estructura tridimensional del cuerpo. El resultado suele visualizarse como la vista de un corte en blanco y negro, pero puede colorearse. Las TC muestran las relaciones tridimensionales y la estructura de los tejidos blandos con mayor claridad que las radiografías corrientes.



(c) RM (resonancia magnética) de la misma región. La RM rodea una parte o todo el cuerpo con un campo magnético unas 3.000 veces más potente que el de la tierra. Este campo afecta a los protones pertenecientes a los núcleos de los átomos en todo el cuerpo y producen su alineación a lo largo de líneas magnéticas de fuerza igual que les pasa a las agujas de una brújula en el campo magnético terrestre. Al chocar contra una onda de radio de la frecuencia adecuada, un protón absorberá energía. Una vez acabado el pulso, esa energía se libera, y los ordenadores de la RM detectan la fuente de energía de esa radiación. Cada elemento varía en cuanto a la frecuencia de radio necesaria para actuar sobre sus protones. Observe las diferencias en cuanto a detalle entre esta vista, la TC y las radiografías de la **figura 1.15**.



(d) Ecografía abdominal. En las técnicas **ecográficas,** un pequeño transmisor situado en contacto con la piel emite una ráfaga corta y estrecha de sonido de alta frecuencia y, a continuación, recoge sus ecos. Las ondas sonoras se reflejan en las estructuras internas, y la configuración de los ecos permite reunir una imagen, o **ecografía.** Estas representaciones carecen de la claridad propia de otros procedimientos, pero no se ha atribuido ningún efecto adverso a las ondas sonoras, y puede seguirse el desarrollo fetal sin un riesgo apreciable de provocar anomalías congénitas. Los métodos especiales de transmisión y elaboración de la imagen permiten el análisis estructural del latido cardíaco, sin las complicaciones que a veces acompañan a las inyecciones de colorantes.

Figura 1.16 Técnicas de corte

Nota clínica *(cont.)*

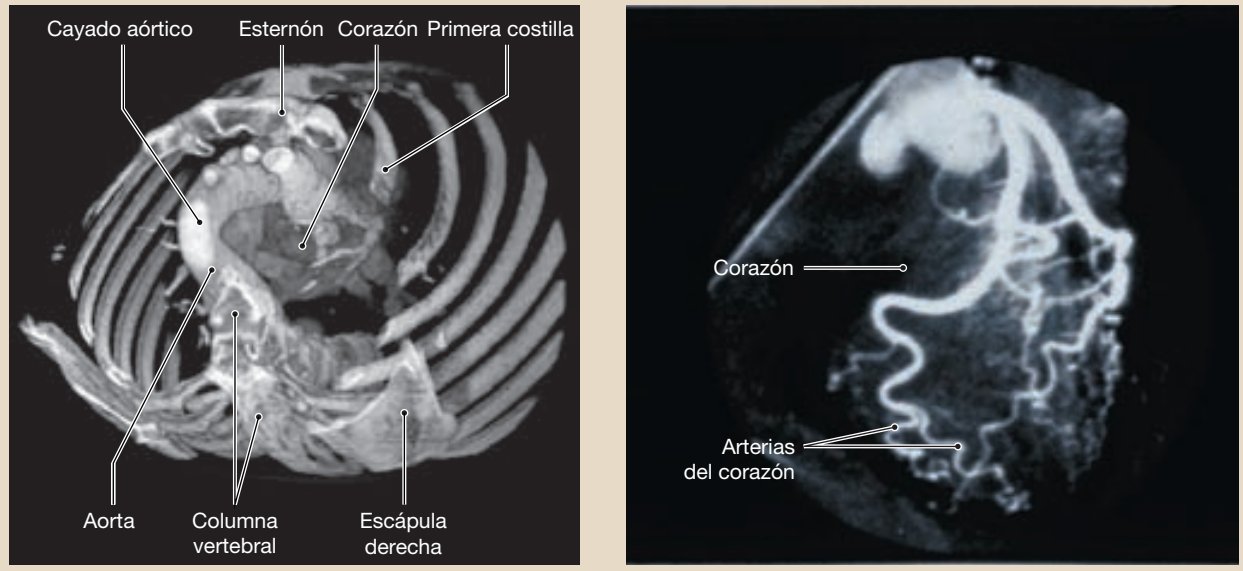


Figura 1.17 Métodos de corte especiales
(a) TC helicoidal del tórax. La imagen se crea mediante un procesamiento especial de los datos correspondientes a la TC. Este método permite la visualización tridimensional rápida de los órganos internos. Las TC helicoidales están cobrando cada vez mayor importancia en el medio clínico. **(b)** La **angiografía digital por sustracción (ADS)** se emplea para comprobar la circulación sanguínea a través de algún órgano específico, como el encéfalo, el corazón, los pulmones y los riñones. Las radiografías se toman antes y después de administrar el colorante radioopaco, y un ordenador «sustrae» los detalles comunes a ambas imágenes. El resultado es una visión de alto contraste que muestra su distribución.

TÉRMINOS CLÍNICOS

cuadrante abdominopélvico: Cada una de las cuatro partes en que se divide la superficie del abdomen.

diagnóstico: Decisión sobre la naturaleza de una enfermedad.

ecografía: Técnica de imagen que utiliza breves ráfagas de sonidos de alta frecuencia, que se reflejan en las estructuras internas.

enfermedad: Fracaso en la conservación de las condiciones homeostáticas corporales.

patología: Término formal que denomina el estudio de las enfermedades.

radiólogo: Médico especializado en realizar técnicas diagnósticas de imagen y analizarlas.

rayos X: Radiación de alta energía capaz de traspasar los tejidos vivos.

región abdominopélvica: Cada una de las nueve partes en que se divide la superficie del abdomen.

RM (resonancia magnética): Técnica de imagen que emplea un campo magnético y ondas de radio como medio para representar sutiles diferencias estructurales.

TC, TAC (tomografía [axial] computarizada): Técnica de imagen que reconstruye la estructura tridimensional del cuerpo.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 2

1. La **anatomía** es el estudio de las estructuras internas y externas, y de las relaciones físicas existentes entre las partes corporales. Una estructura anatómica específica realiza una función específica.

Anatomía microscópica 2

1. Los límites de la **anatomía microscópica** los fija el equipo utilizado. La **citología** es el estudio de la estructura interna de cada célula distinta, las unidades más pequeñas de la vida. La **histología** examina los **tejidos,** grupos de células especializadas y de productos celulares que actúan en conjunto para ejecutar funciones concretas. La organización específica de los tejidos forma **órganos,** unidades anatómicas con múltiples funciones. Un grupo de órganos que funcionan juntos constituye un **sistema orgánico** *(v. figura 1.1)*.

Anatomía macroscópica 3

1. La **anatomía macroscópica** analiza características visibles sin un microscopio. Comprende la **anatomía de superficie** (forma general y proyecciones superficiales), la **anatomía regional** (rasgos superficiales e internos de una zona corporal específica) y la **anatomía general** (estructura de los principales sistemas orgánicos).

Otras perspectivas de la anatomía 3

1. La **anatomía del desarrollo** valora los cambios que suceden en la forma desde la fecundación hasta la madurez física. La **embriología** estudia los procesos que ocurren durante los dos primeros meses del desarrollo.
2. La **anatomía comparada** explora las semejanzas y las relaciones en la organización anatómica de los diferentes animales *(v. figura 1.2)*.

3. Las especialidades anatómicas importantes para la práctica clínica incluyen la **anatomía clínica** (rasgos anatómicos que experimenten algún cambio característico durante una enfermedad), la **anatomía quirúrgica** (referencias más importantes para realizar una operación), la **anatomía radiológica** (estructuras anatómicas visualizadas por técnicas especializadas aplicadas a un cuerpo íntegro) y la **anatomía por cortes** *(v. figuras 1.15 a 1.17)*.

Niveles de organización 4

1. Las estructuras anatómicas se disponen en una serie de niveles de organización que interaccionan entre sí, desde el químico/molecular hasta el orgánico/sistémico/organismo, pasando por el celular/tisular *(v. figuras 1.3/1.4)*.

Introducción a los sistemas orgánicos 6

1. Todos los organismos vivos se identifican por un conjunto de propiedades y procesos vitales: **reaccionan** a los cambios de su entorno; muestran *adaptabilidad* a su ambiente; **crecen,** se **diferencian** y se **reproducen** para dar lugar a las generaciones futuras; son capaces de producir **movimientos** y absorben sustancias desde el medio, y las usan en el **metabolismo.** Los organismos absorben y consumen oxígeno durante la **respiración,** y emiten residuos durante la **excreción.** La **digestión** descompone alimentos complejos para su uso por el cuerpo. El **aparato cardiovascular** constituye un sistema de transporte interno entre las regiones corporales *(v. figuras 1.5/1.6)*.
2. Los 11 sistemas orgánicos del cuerpo humano cumplen estas funciones vitales para mantener la **homeostasis** *(v. figura 1.5)*.

Lenguaje anatómico 13

1. La anatomía utiliza un lenguaje especial que contiene numerosas palabras y frases procedentes de lengua extranjeras, sobre todo latín y griego *(v. figuras 1.7 a 1.14)*.

Anatomía de superficie 14

2. Las ilustraciones anatómicas habituales muestran el cuerpo en **posición anatómica.** Así, la persona está de pie con las piernas juntas y los pies bien apoyados sobre el suelo. Las manos quedan colocadas a ambos lados y sus palmas miran hacia adelante *(v. figuras 1.8/1.10)*.
3. Una persona tumbada en posición anatómica puede estar en **decúbito supino** (con la cara hacia arriba) o en **decúbito prono** (con la cara hacia abajo).
4. Cada región anatómica concreta se identifica por un término específico; por ejemplo, *cefálico* (zona de la cabeza), *cervical* (zona del cuello) y *torácico* (zona del tórax). Otros se aplican a una región determinada del cuerpo, como *abdominal, pélvico, lumbar, glúteo, púbico, braquial, antebraquial, manual, femoral, rotuliano, crural, sural* y *pedio (v. figura 1.8 y tabla 1.1)*.
5. Los **cuadrantes abdominopélvicos** y las **regiones abdominopélvicas** representan dos sistemas diferentes de describir una localización en las zonas abdominal y pélvica del cuerpo *(v. figura 1.9)*.
6. Los términos de dirección específicos se emplean para indicar una localización relativa sobre el cuerpo; por ejemplo, *anterior* (delantero, adelante), *posterior* (trasero, detrás) y *dorsal* (trasero). Otros más que están presentes a lo largo del texto son *ventral, superior, inferior, medial, lateral, craneal, cefálico, caudal, proximal* y *distal (v. figura 1.10 y tabla 1.2)*.

Anatomía seccional 16

7. Hay tres **planos de corte: plano frontal** o **coronal** (anterior o posterior), **plano sagital** (lado derecho o izquierdo) y **plano transversal** (superior o inferior). Estos planos de corte y sus términos de referencia asociados describen las relaciones entre las partes de un cuerpo humano tridimensional *(v. figura 1.11)*.
8. La **reconstrucción seriada** es un método importante para estudiar la estructura histológica y para analizar las imágenes obtenidas con las técnicas radiográficas *(v. figura 1.12)*.
9. Las **cavidades corporales** protegen a los órganos más delicados y permiten cambios en el tamaño y la forma de las vísceras. La **cavidad corporal ventral,** o **celoma,** rodea a los órganos pertenecientes a los aparatos respiratorio, cardiovascular, digestivo, urinario y genital.
10. El **diafragma** parte la cavidad corporal ventral en las **cavidades torácica** superior y **abdominopélvica** inferior *(v. figuras 1.13/1.14)*.
11. La **cavidad abdominal** se extiende desde la cara inferior del diafragma hasta una línea imaginaria trazada desde la cara inferior de la última vértebra hasta el borde anterior y superior de la cintura pélvica. La porción de la cavidad corporal ventral correspondiente al espacio que queda debajo de esta línea imaginaria es la **cavidad pélvica** *(v. figuras 1.13/1.14)*.
12. La cavidad corporal ventral contiene espacios estrechos llenos de líquido y tapizados por una *serosa.* La cavidad torácica contiene dos **cavidades pleurales** (cada una rodea a un pulmón) separadas por el **mediastino** *(v. figuras 1.13/1.14)*.
13. El mediastino contiene el timo, la tráquea, el esófago, los vasos sanguíneos y la **cavidad pericárdica,** que rodea al corazón. La membrana que tapiza las cavidades pleurales se llama **pleura;** la que reviste la cavidad pericárdica se denomina **pericardio** *(v. figuras 1.13/1.14)*.
14. La **cavidad abdominopélvica** contiene la **cavidad peritoneal,** que está tapizada por el **peritoneo.** Muchos órganos digestivos se encuentran sostenidos y estabilizados por los **mesenterios.**
15. Entre los **procedimientos radiológicos** más importantes, que pueden suministrar información detallada sobre los sistemas internos, figuran las **radiografías, TC, RM** y **ecografías.** Los médicos que realizan y analizan estas técnicas se llaman **radiólogos** *(v. figuras 1.15 a 1.17)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___1. decúbito supino	a. estudio de los tejidos
___2. citología	b. boca abajo
___3. homeostasis	c. torácico y abdominopélvico
___4. lumbar	d. toda la actividad química del cuerpo
___5. decúbito prono	e. estudio de las células
___6. metabolismo	f. boca arriba
___7. cavidad corporal ventral	g. constancia del medio interno
___8. histología	h. parte inferior de la espalda

9. Un plano que pase perpendicular al eje longitudinal de la parte del cuerpo estudiada es:
   (a) sagital (c) transversal
   (b) coronal (d) frontal

10. Las cavidades corporales:
   (a) son espacios internos que contienen muchos órganos vitales
   (b) comprenden un espacio ventral más sus subdivisiones
   (c) permiten que las vísceras cambien de tamaño y de forma
   (d) todas las anteriores

11. La función principal del aparato _____ es el transporte interno de nutrientes, residuos y gases.
   (a) digestivo
   (b) cardiovascular
   (c) respiratorio
   (d) urinario

12. ¿Cuál de las siguientes enumeraciones se corresponde exclusivamente con estructuras encerradas dentro del mediastino?
    (a) pulmones, esófago, corazón
    (b) corazón, tráquea, pulmones
    (c) esófago, tráquea, timo
    (d) faringe, timo, grandes vasos

13. La realización de un corte sagital separa:
    (a) porciones anteriores y posteriores del cuerpo
    (b) porciones superiores e inferiores del cuerpo
    (c) porciones dorsales y ventrales del cuerpo
    (d) porciones derechas e izquierdas del cuerpo

14. 14. El lugar fundamental para la producción de las células sanguíneas se encuentra en el:
    (a) aparato cardiovascular
    (b) sistema óseo
    (c) sistema tegumentario
    (d) sistema linfático

15. ¿Cuál de las siguientes regiones corresponde al brazo?
    (a) cervical
    (b) braquial
    (c) femoral
    (d) pedio

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Entre las siguientes series, identifique cuál reúne los términos de dirección equivalentes a *ventral, posterior, superior* e *inferior,* en el orden correcto.
    (a) anterior, dorsal, cefálico, caudal
    (b) dorsal, anterior, caudal, cefálico
    (c) caudal, cefálico, anterior, caudal
    (d) cefálico, caudal, posterior, anterior

2. ¿Cuáles son las propiedades y los procesos asociados a todos los seres vivos?

3. Por medio del vocabulario anatómico oportuno, describa la relación que guarda la mano con el brazo.

4. El sistema corporal que lleva a cabo el control de una crisis al ponerse al frente de una respuesta rápida, breve y muy específica es el:
    (a) sistema linfático
    (b) sistema nervioso
    (c) aparato cardiovascular
    (d) sistema endocrino

5. ¿Qué plano de corte podría dividir el cuerpo dejando íntegra la cara?
    (a) corte sagital
    (b) corte coronal
    (c) corte mediosagital
    (d) ninguno de los anteriores

6. ¿Por qué los organismos grandes deben tener aparato circulatorio?

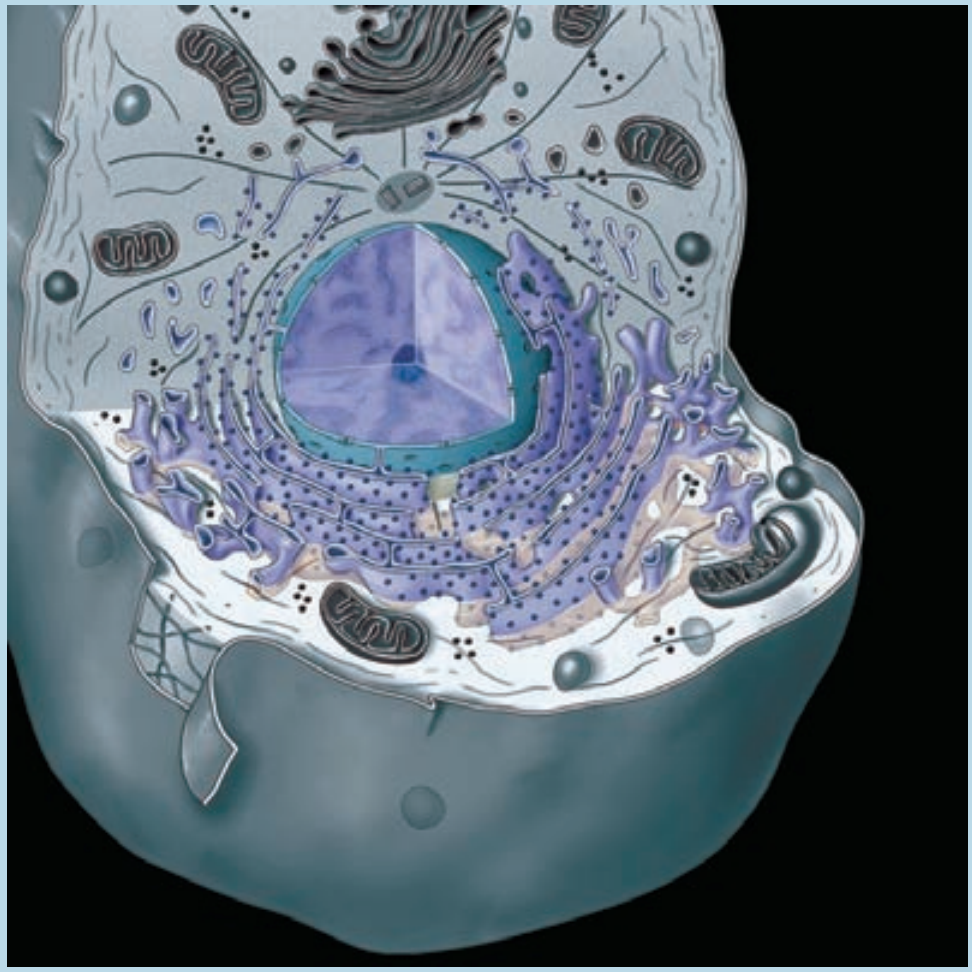
Nivel 3 Pensamiento crítico

1. La perturbación de los procesos normales de la división celular en las células de la médula ósea, ¿cómo podría apoyar la idea de que todos los niveles de organización son interdependientes en un organismo?

2. Un niño nacido con un paladar hendido grave puede necesitar una operación para reparar la cavidad nasal y reconstruir el techo de la boca. ¿Qué sistemas corporales están afectados por el proceso? Además, el estudio de otros mamíferos que sufren fisuras palatinas nos han servido para entender el origen y el tratamiento de tales problemas. ¿Qué especialidades anatómicas participan en la detección y la corrección de una fisura palatina?

2

La célula



Introducción 27

Estudio de las células 27

Anatomía celular 29

Unión intercelular 43

Ciclo vital de la célula 45

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Exponer los conceptos básicos de la teoría celular.
2. Confrontar las perspectivas aportadas por el MO, el MET y el MEB al estudio de la estructura celular y tisular.
3. Explicar la estructura y la importancia de la membrana plasmática.
4. Poner la estructura de una membrana en relación con sus funciones.
5. Describir el modo en que las sustancias pasan la membrana plasmática.
6. Comparar los líquidos contenidos en una célula con el líquido extracelular.
7. Señalar la estructura y las funciones de los distintos orgánulos sin membrana.
8. Comparar la estructura y las funciones de los distintos orgánulos con membrana.
9. Estudiar el cometido del núcleo como centro de control celular.
10. Examinar las interconexiones entre las células que permiten mantener la estabilidad estructural de los tejidos corporales.
11. Describir el ciclo vital de la célula y su división por el proceso de la mitosis.

Si recorre una tienda donde vendan material de construcción, verá muchos artículos distintos: ladrillos, baldosas, paneles sueltos por piezas y un gran surtido de maderas. Cada elemento es irrelevante por sí mismo y de muy escasa utilidad. Sin embargo, si reúne todos en una cantidad suficiente, puede levantar una unidad funcional, en este ejemplo una casa. El cuerpo humano también está formado por innumerables componentes independientes llamados *células.* Lo mismo que pasa con el conjunto de ladrillos y vigas de madera que constituyen los muros de una casa, cada célula colabora con el resto para producir *tejidos,* como en el caso de la pared muscular del corazón.

El científico inglés Robert Hooke fue el primero en describir las células hacia 1665. Hooke empleó un microscopio óptico primitivo para examinar el corcho seco y observó miles de minúsculas cavidades vacías, que denominó *celdas.* Más tarde, otros científicos vieron lo mismo en las plantas vivas y se percataron de que estos espacios estaban llenos de una sustancia gelatinosa. Las investigaciones realizadas durante los 175 años siguientes dieron lugar a la *teoría celular,* el concepto de que las células representan la unidad fundamental de todos los seres vivos. Desde la década de 1830, fecha de su primera propuesta, la teoría celular se ha ampliado hasta llegar a incluir varios conceptos básicos relacionados con nuestra exposición sobre el cuerpo humano:

1. Las células son los «ladrillos» presentes en todas las plantas y los animales.
2. Las células se generan a traves de la división de otras células preexistentes.
3. Las células son la unidad estructural más pequeña que realiza todas las funciones vitales.

El cuerpo humano contiene billones de células. Todas nuestras actividades, desde correr hasta pensar, dependen de una respuesta combinada y coordinada de millones o hasta miles de millones de células. Aun así, cada célula por separado no es consciente de su misión dentro de este «panorama a gran escala»: simplemente reacciona frente a los cambios producidos en su medio local. Como las células constituyen todas las estructuras del cuerpo y ejecutan todas las funciones vitales, nuestra exploración del cuerpo humano debe comenzar por la biología celular básica.

En el organismo hay dos tipos de células: sexuales y somáticas. Las **células sexuales** *(células germinales* o *células reproductoras)* son los espermatozoides del varón o los ovocitos de la mujer. Las **células somáticas** *(soma,* cuerpo) comprenden todas las demás células del organismo. En este capítulo trataremos de las células somáticas, y dejaremos las células sexuales para el que está dedicado al aparato genital (v. capítulo 27).

Estudio de las células [v. figuras 2.1/2.2]

La *citología* es el estudio de la estructura y la función de las células. Durante los últimos 40 años hemos aprendido mucho sobre fisiología celular y sobre los mecanismos de control homeostático. Los dos métodos utilizados más a menudo para estudiar la estructura de las células y los tejidos son la *microscopia óptica* y la *microscopia electrónica.*

Microscopia óptica

Desde el punto de vista histórico, la mayor parte de la información se ha obtenido con la microscopia óptica, método en el que un haz de luz atraviesa el objeto contemplado. Las fotografías tomadas con un microscopio óptico se denominan microfotografías ópticas (MO) (**v. figura 2.1a**). La microscopia óptica permite ampliar las estructuras celulares unas 1.000 veces y mostrar detalles hasta de 0,25 μm. (El símbolo μm significa micrómetro; 1 μm = 0,001 mm.) Con un microscopio óptico puede identificarse el tipo de célula y ver grandes estructuras intracelulares. Las células presentan toda una diversidad de tamaños y formas, tal como queda indicado en la **figura 2.2**. Las proporciones relativas recogidas en la **figura 2.2** son correctas, pero todas están agrandadas unas 500 veces. Por desgracia, no es posible coger una célula sin más, depositarla sobre un portaobjetos y hacer una fotografía. Como cada una es tan pequeña por separado, hay que trabajar con grandes cantidades. La mayoría de los tejidos tienen una estructura tridimensional, y pueden extraerse pequeños fragmentos para su examen. La descomposición de las células integrantes se evita si la muestra de tejido se expone antes a algún tóxico que detenga las operaciones metabólicas, sin modificar las estructuras celulares.

Aun así, la muestra tisular todavía no puede mirarse a través de un microscopio óptico, porque un cubo que no mida más que 2 mm de lado va a albergar varios millones de células. Hay que dividir la pieza en cortes finos. Las células vivas son relativamente gruesas y su contenido no es transparente. La luz sólo puede pasar por el corte si las rebanadas miden menos que una célula entera. La obtención de una rodaja delgada plantea unos problemas técnicos interesantes. La mayoría de los tejidos no son muy resistentes, por lo que cualquier intento de sacar una porción en fresco destruirá la muestra. (Para darse cuenta de la dificultad, trate de partir un malvavisco en lonchas finas.) Por tanto, antes de crear las condiciones para efectuar los cortes, hay que enterrar la pieza de tejido en algo que la haga más estable, como cera, plástico o epoxirresina. Estos materiales nunca van a interactuar con las moléculas de agua, por lo que antes debe procederse a deshidratarla (lo habitual es su inmersión en alcoholes crecientes al 30%, 70%, 95% hasta llegar al 100%). Si sumerge la

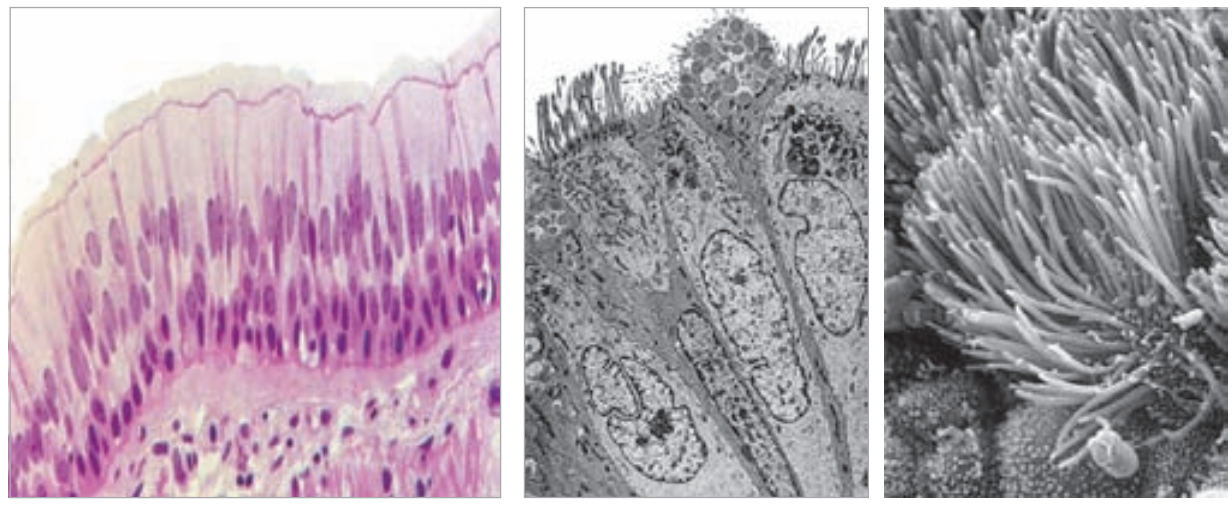


Figura 2.1 Técnicas diferentes, perspectivas diferentes
Células vistas por **(a)** microscopia óptica (vías respiratorias), **(b)** microscopia electrónica de transmisión (tubo digestivo) y **(c)** microscopia electrónica de barrido (vías respiratorias).

muestra en cera, ha de calentarla lo suficiente para que se derrita; en el caso de utilizar plástico o epoxirresina, el proceso de endurecimiento genera calor por sí mismo.

Después de incluir la muestra, el bloque ya se puede cortar con un aparato llamado microtomo, que emplea una cuchilla de metal, de cristal o de diamante. Para examinarlos mediante el microscopio óptico, los cortes típicos miden unos 5 μm de grosor. A continuación, el material fino se coloca en un portaobjetos. Si la pieza se introdujo en cera, ya llegó el momento de eliminarla con un disolvente, como xileno. Pero todavía no se ha acabado: el contenido de las células es casi transparente en un corte fino; aún no es posible distinguir los detalles intracelulares con un microscopio óptico corriente. Antes hay que dotar de color a las estructuras internas mediante el tratamiento de los portaobjetos con unos colorantes especiales llamados tinciones, que se disuelven unas en agua y otras en alcohol. No todos los tipos de células captan un colorante dado con la misma intensidad –en el caso de que lleguen a hacerlo–; ni tampoco todas las clases de orgánulos intracelulares. Por ejemplo, al raspar una muestra de la cara interna de la mejilla, un colorante puede teñir sólo determinados tipos de bacterias; en una muestra de semen, otro podría marcar únicamente los flagelos de los espermatozoides. Si prueba demasiados colorantes a la vez, todos se mezclan y hay que empezar de nuevo. Después de teñir, puede ponerse un cubreobjetos sobre los cortes (en general, tras haberlos deshidratado una vez más) y comprobar los frutos de sus esfuerzos.

Un corte suelto puede mostrar tan sólo una parte de una célula o un tejido. Para reconstruir la estructura tisular, hay que observar toda una serie de cortes realizados uno tras otro. Después de examinar docenas o cientos, es posible entender la estructura de las células y la organización de la muestra tisular, ¿o no? La reconstrucción le ha facilitado una interpretación del aspecto adquirido por estas células después de: 1) haber muerto de una forma no natural; 2) ser deshidratadas; 3) impregnarlas de cera o de plástico; 4) trocearlas en cortes finos; 5) rehidratarlas, deshidratarlas y teñirlas con diversos productos químicos, y 6) observarlas con las limitaciones que presente su equipo. Un buen citólogo o histólogo es sumamente prudente, cauto y autocrítico, y se da cuenta de que gran parte de la preparación en el laboratorio tiene tanto de arte como de ciencia.

Microscopia electrónica

Tomada por separado, cada célula es relativamente transparente y resulta difícil distinguirla de sus vecinas. Su visualización se facilita en gran medida si se tratan con algún colorante que marque estructuras intracelulares específicas. Aunque las técnicas especiales de tinción puedan poner de manifiesto la distribución general de las proteínas, los lípidos, los carbohidratos o los ácidos nucleicos en su interior, muchos detalles sutiles de la estructura intracelular permanecieron ocultos en el misterio hasta que los investigadores comenzaron a utilizar el microscopio electrónico. Este método emplea un haz concentrado de electrones para examinar la estructura de la célula, en vez de un haz de luz. En la **microscopia electrónica de transmisión,** los electrones traspasan un corte ultrafino de tejido hasta chocar contra una placa fotográfica. El resultado es una microfotografía electrónica de transmisión (MET). La microscopia electrónica de transmisión revela la estructura íntima de la membrana plasmática (membrana de la célula) y los detalles de las estructuras intracelulares (v. figura 2.1b). En la **microscopia electrónica de barrido,** los electrones rebotan sobre las superficies expuestas recubiertas por una película de oro-carbono y generan una microfotografía electrónica de barrido (MEB). Aunque la microscopia electrónica de barrido ofrece un aumento menor que la de transmisión, proporciona una perspectiva tridimensional de la estructura celular (v. figura 2.1c).

Este grado de detalle plantea sus propios problemas. A nivel del microscopio óptico, si pretende partir una célula grande igual que haría con una barra de pan, podría obtener 10 cortes, lo que permite analizar la serie completa en pocos minutos. Si la misma célula se troceara para examinarla con un microscopio electrónico, saldrían 1.000 cortes, cuya revisión podría llevar varias horas.

Para estudiar la estructura celular y tisular, pueden utilizarse otros muchos métodos cuyos ejemplos aparecerán en las páginas siguientes y a lo largo de todo el libro. Este capítulo describe la estructura de una célula típica, algunas de las formas de interacción entre las células y su medio, y su manera de reproducirse.

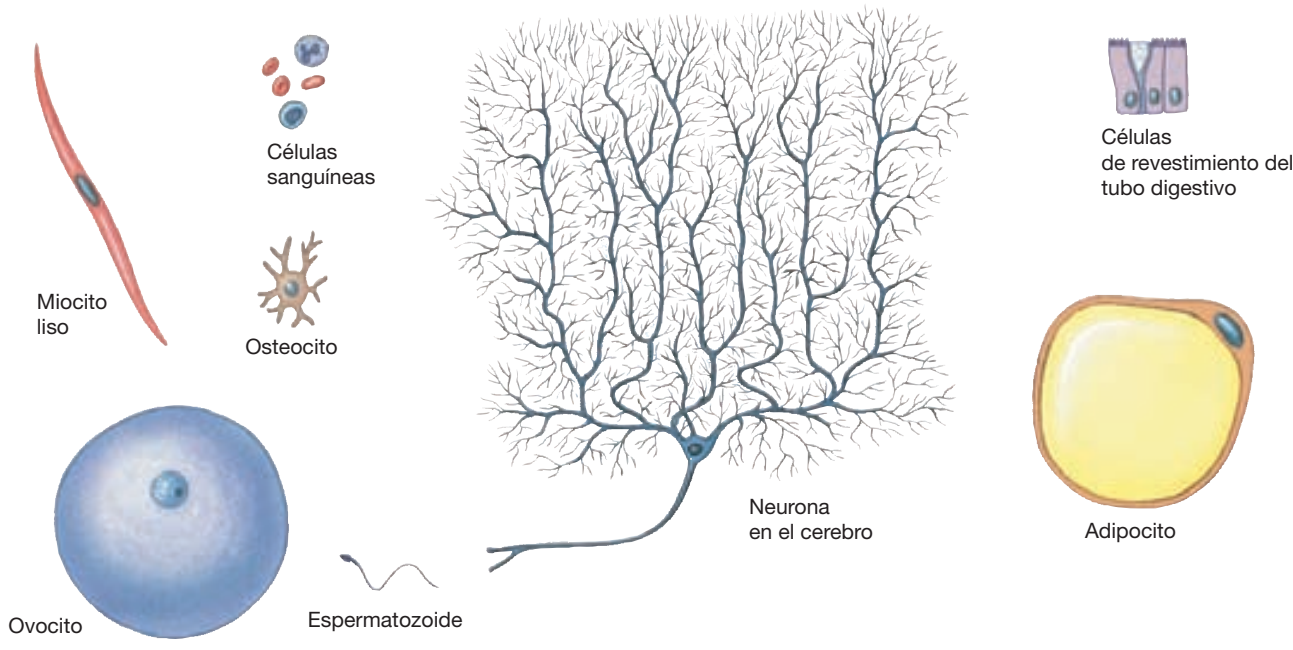


Figura 2.2 Diversidad de las células corporales
Las células del cuerpo adoptan muchas configuraciones diferentes y cumplen toda una variedad de funciones especiales. Estos ejemplos aportan un indicio sobre el repertorio de formas y tamaños; todas las células aparecen con las dimensiones que tendrían si se las ampliara unas 500 veces.

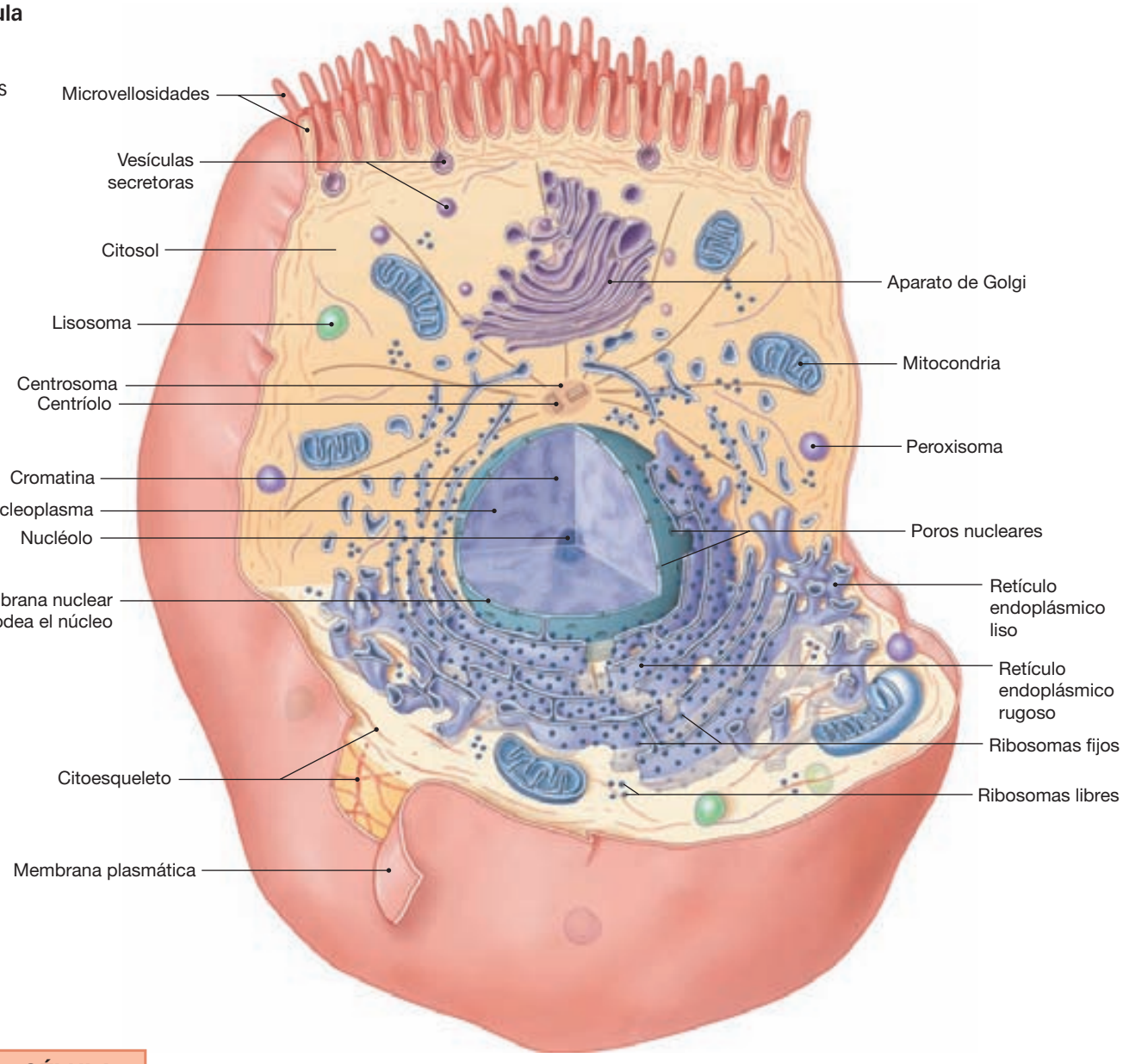


Figura 2.3 Anatomía de una célula típica
Véase la tabla 2.1 para consultar un resumen sobre las funciones asociadas a las diversas estructuras celulares.

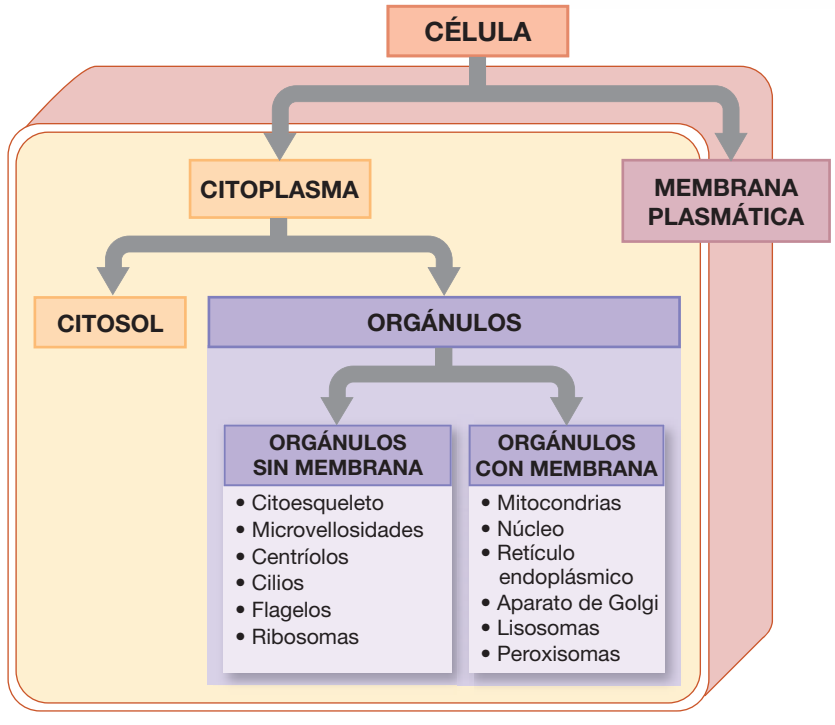


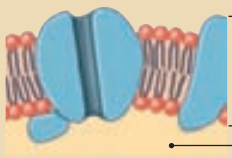
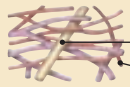
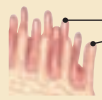
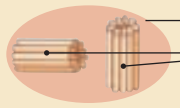
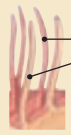
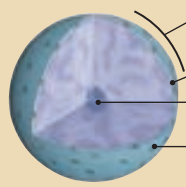
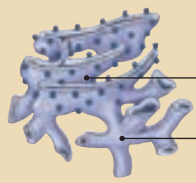
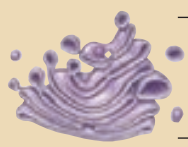
Figura 2.4 Esquema para el estudio de la estructura celular
El citoplasma se subdivide en citosol y orgánulos. Los orgánulos se subdividen en orgánulos con membrana y orgánulos sin membrana.

Anatomía celular [v. figuras 2.3/2.4 y tabla 2.1]

La célula «típica» es como la persona «promedio». Cualquier descripción sólo puede concebirse en un sentido general porque existen enormes variaciones individuales. Nuestro modelo de célula típica compartirá características con la mayoría de las células del organismo pero sin ser idéntica a ninguna. La figura 2.3 recoge este modelo y la tabla 2.1 resume las principales estructuras y funciones de sus partes.

La figura 2.4 anticipa la organización de este capítulo. Nuestras células representativas flotan en un medio acuoso denominado **líquido extracelular.** Una *membrana plasmática* separa su contenido, o *citoplasma,* del líquido extracelular. El citoplasma a su vez puede subdividirse en un líquido, el *citosol,* y las estructuras intracelulares, conocidas en su conjunto como *orgánulos* («órganos pequeños»).

TABLA 2.1 Anatomía de una célula representativa

Aspecto	Estructura	Composición	Función(es)
MEMBRANA PLASMÁTICA Y CITOSOL			
	 Membrana plasmática	Bicapa lipídica, que contiene fosfolípidos, esteroides, proteínas y carbohidratos	Aislamiento; protección; sensibilidad; sostén; control de la entrada/salida de sustancias
	Citosol	Componente líquido del citoplasma; puede contener inclusiones de materiales insolubles	Distribución de materiales por difusión; almacenamiento de glucógeno, pigmentos y otras sustancias
ORGÁNULOS SIN MEMBRANA			
	 Citoesqueleto Microtúbulo Microfilamento	Prolongaciones de la membrana que contienen microfilamentos	Aumento de la superficie para facilitar la absorción de sustancias extracelulares
	 Microvellosidades	Prolongaciones de la membrana que contienen dobletes de microtúbulos en una disposición 9 + 2	Movimiento de sustancias sobre la superficie celular
	 Centrosoma Centríolos	Proteínas organizadas en filamentos finos o tubos delgados	Resistencia y sostén; movimiento de las estructuras celulares y las sustancias
	 Cilios	Citoplasma que contiene dos centríolos, perpendiculares; cada centríolo está compuesto de nueve tripletes de microtúbulos	Imprescindible para el movimiento de los cromosomas durante la división celular; organización de los microtúbulos en el citoesqueleto
	Ribosomas	ARN + proteínas; ribosomas fijos unidos al retículo endoplásmico rugoso; ribosomas libres esparcidos por el citoplasma	Síntesis de proteínas
ORGÁNULOS CON MEMBRANA			
	Mitocondrias	Doble membrana, con pliegues internos (crestas) que encierran enzimas metabólicas	Producción del 95% del ATP necesario para la célula
	 Núcleo	Nucleoplasma que contiene nucleótidos, enzimas, nucleoproteínas y cromatina; rodeado de una doble membrana (membrana nuclear) con poros nucleares	Control del metabolismo; almacenamiento y procesamiento de la información genética; control de la síntesis proteínica
	Membrana nuclear		
	Nucléolo	Región densa del nucleoplasma que contiene ADN y ARN	Lugar para la síntesis del ARNr y el ensamblaje de las subunidades ribosómicas
	Poro nuclear		
	 Retículo endoplásmico (RE)	Red de conductos membranosos que se extiende por todo el citoplasma	Síntesis de productos de secreción; almacenamiento intracelular y transporte
	RE rugoso	Ribosomas ligados a la membrana	Modificación y empaquetamiento de las proteínas recién sintetizadas
	RE liso	Sin ribosomas ligados	Síntesis de lípidos, esteroides y carbohidratos; almacenamiento de calcio iónico
	 Aparato de Golgi	Pilas de membranas planas (cisternas) que contienen cavidades	Almacenamiento, modificación y empaquetamiento de los productos de secreción y las enzimas lisosómicas
	Lisosoma	Vesículas que contienen enzimas digestivas	Eliminación intracelular de los orgánulos alterados o de los patógenos
	Peroxisoma	Vesículas que contienen enzimas de degradación	Catabolismo de las grasas y otros compuestos orgánicos; neutralización de los compuestos tóxicos generados en el proceso

Membrana plasmática [v. figura 2.5]

El límite externo de una célula se denomina **membrana plasmática,** y también puede llamarse **membrana celular** o *plasmalema.* Se trata de una estructura sumamente fina y delicada, cuyo espesor mide entre 6 y 10 nm (1 nm = 0,001 μm). No obstante, presenta una organización compleja, compuesta de fosfolípidos, proteínas, glucolípidos y colesterol. En la figura 2.5 se ofrece la disposición de esta membrana plasmática.

La membrana plasmática recibe el nombre de **bicapa fosfolipídica** porque sus fosfolípidos forman dos capas distintas. En cada una, sus moléculas adoptan una colocación con las cabezas orientadas hacia la superficie y las colas hacia el interior. Los iones disueltos y los compuestos hidrosolubles no pueden cruzar la porción lipídica de la membrana plasmática porque las colas lipídicas no se van a ligar a las moléculas de agua. Esta característica otorga a la membrana una gran eficacia para aislar el citoplasma del medio líquido que lo rodea, propiedad que es importante porque el citoplasma tiene una composición muy distinta al líquido extracelular, y esa diferencia debe mantenerse.

Hay dos grandes clases de proteínas de membrana. Las **proteínas periféricas** están ligadas a su superficie interna o externa. Las **proteínas integrales** se encuentran enterradas en la membrana. La mayoría recorren toda su anchura una vez como mínimo, y por tanto se denominan *proteínas transmembrana.* Algunas forman **canales** que permiten la entrada o la salida de la célula a las moléculas de agua, iones y pequeños compuestos hidrosolubles. La comunicación entre el interior y el exterior de la célula tiene lugar a través de estos canales en su mayor proporción. Una parte de ellos recibe el nombre de **compuertas** porque pueden abrirse o cerrarse para regular el paso de sustancias. Otras proteínas integrales pueden funcionar como catalizadores o puntos receptores, o intervenir en el reconocimiento intercelular.

Las superficies interna y externa de la membrana plasmática difieren en la composición que presentan de proteínas y lípidos. El ingrediente glucídico *(gluco-)* de los glucolípidos y las glucoproteínas que sobresale por fuera de la cara externa de la membrana plasmática forma un revestimiento viscoso superficial llamado **glucocáliz** *(cáliz,* copa). Parte de sus moléculas actúan como receptores: cuando se une a una molécula específica presente en el líquido extracelular, un receptor de membrana puede desencadenar un cambio en la actividad celular. Por ejemplo, las enzimas citoplásmicas situadas en la cara interna de la membrana plasmática pueden ligarse a proteínas integrales y sus actividades verse influidas por fenómenos ocurridos en la superficie de la membrana.

Las funciones generales de la membrana plasmática comprenden las siguientes acciones:

1. *Aislamiento físico:* la bicapa lipídica de la membrana plasmática forma una barrera física que separa el interior de la célula y el líquido extracelular que lo rodea.
2. *Regulación del intercambio con el medio:* la membrana plasmática controla la entrada de iones y nutrientes, la eliminación de desechos y la emisión de los productos de secreción.
3. *Sensibilidad:* la membrana plasmática es la primera porción de la célula afectada por los cambios acaecidos en el líquido extracelular. También contiene una diversidad de receptores que le permiten reconocer y responder a moléculas específicas de su medio, además de comunicarse con otras células. Cualquier alteración que sufra puede repercutir sobre todas las actividades celulares.
4. *Soporte estructural:* las conexiones especializadas establecidas entre las membranas plasmáticas o con las sustancias extracelulares otorgan a los tejidos una estructura estable.

La estructura de la membrana es líquida. El colesterol contribuye a estabilizarla y mantiene su fluidez. Las proteínas integrales pueden desplazarse por el interior de la membrana como los cubitos de hielo que flotan en una fuente de ponche. Además, la membrana plasmática puede variar de composición con el tiempo, mediante la supresión y sustitución de sus componentes.

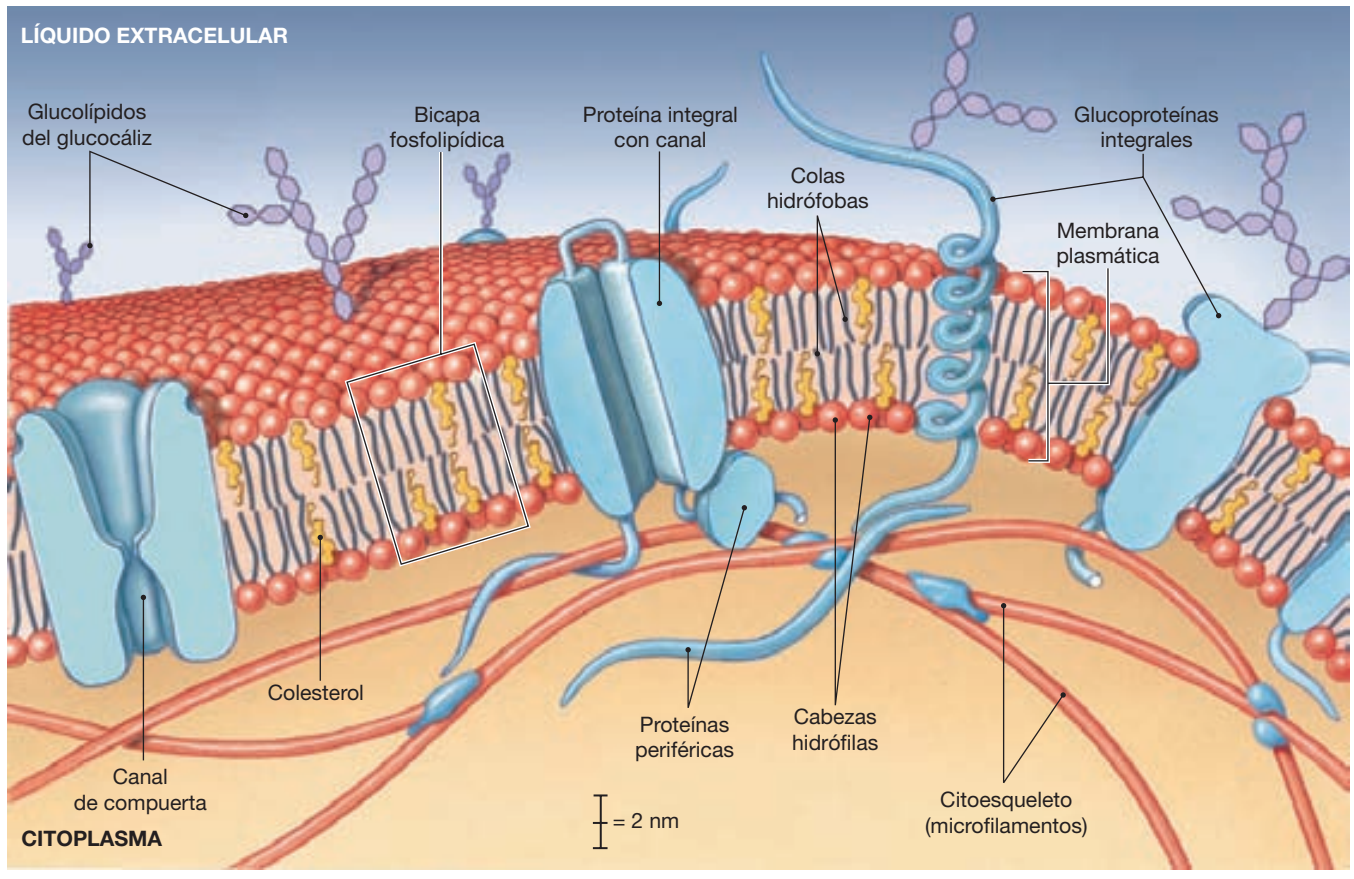


Figura 2.5 **Membrana plasmática**

Permeabilidad de la membrana: procesos pasivos

La **permeabilidad** de una membrana es una propiedad que determina su eficacia como barrera. Cuanto mayor sea su valor, más fácil es que la crucen las sustancias. Si no hay nada capaz de atravesarla, se describe como **impermeable.** Si cualquier sustancia puede hacerlo sin problemas, la membrana es de **libre permeabilidad.** Las membranas plasmáticas ocupan algún punto intermedio entre ambas opciones, y se dice que son de **permeabilidad selectiva.** Una membrana de permeabilidad selectiva permite el paso libre de algunos materiales y restringe el de otros. La distinción puede depender del tamaño, la carga eléctrica, la forma de la molécula, la solubilidad de la sustancia o cualquier combinación de estos factores.

La permeabilidad de una membrana plasmática varía según la organización y las características de los lípidos y las proteínas que la componen. Los procesos que intervienen en el paso de una sustancia a su través pueden ser activos o pasivos. Los procesos activos, expuestos más adelante en este mismo capítulo, hacen que la célula recurra a una fuente de energía, normalmente el *trifosfato de adenosina* o *ATP.* Los procesos pasivos dejan que los iones o las moléculas crucen la membrana plasmática sin ningún gasto de energía por parte de la célula. Los procesos activos consisten en la *difusión,* la *ósmosis* y la *difusión facilitada.*

Difusión [v. figura 2.6] Los iones y las moléculas presentes en una solución están en constante movimiento, rebotando entre sí y colisionando con las moléculas de agua. El resultado de todas estas colisiones y rebotes constantes es el proceso llamado difusión. La **difusión** puede definirse como el movimiento neto de material desde una zona de concentración relativamente alta hacia otra donde sea relativamente baja. La diferencia entre las concentraciones altas y bajas representa un **gradiente de concentración,** y la difusión sigue en marcha hasta su eliminación. Dado que sigue un sentido desde una región de mayor concentración a otra de menor, a menudo se caracteriza como un proceso que avanza «a favor de un gradiente de concentración». Una vez suprimido del todo, se alcanza un equilibrio. Aunque las moléculas continúen en movimiento, deja de haber un paso neto en ningún sentido concreto.

La difusión es importante en los líquidos corporales porque tiende a abolir los gradientes de concentración locales. Por ejemplo, una célula activa genera dióxido de carbono y absorbe oxígeno. Por consiguiente, el líquido extracelular que la rodea adquiere una concentración relativamente alta de CO_2 y relativamente baja de O_2. A continuación, la difusión distribuye el dióxido de carbono por el tejido y lo manda hacia la circulación sanguínea. Al mismo tiempo, el oxígeno difunde fuera de la sangre y se dirige hacia el tejido.

En los líquidos extracelulares del cuerpo, el agua y los solutos que pueda llevar (sustancias disueltas en agua) difunden con libertad. Sin embargo, una membrana plasmática actúa como una barrera que restringe selectivamente el proceso. Algunas sustancias pueden cruzarla con facilidad, mientras que otras no la atraviesan en absoluto. Sólo hay dos caminos para que un ión o una molécula difunda a través de una membrana plasmática: por alguno de los canales de membrana o por su porción lipídica. El tamaño del ión o de la molécula y la carga eléctrica que pueda portar determinan su capacidad de pasar por los canales de membrana. Para franquear la porción lipídica de la membrana, la molécula debe ser liposoluble. Estos mecanismos se resumen en la **figura 2.6**.

Ósmosis Las membranas plasmáticas son muy permeables a las moléculas de agua. Su difusión a través de una membrana desde una región de alta concentración hídrica a otra de baja concentración es tan importante que recibe un nombre especial, **ósmosis** (*osmos,* empujón). Cada vez que exista un gradiente osmótico, las moléculas de agua van a difundir con rapidez a través de la membrana plasmática hasta que desaparezca. Por comodidad, siempre utilizaremos el término ósmosis al estudiar el movimiento del agua y restringiremos el empleo de la palabra difusión para el movimiento de los solutos.

Difusión facilitada Muchas sustancias nutritivas esenciales, como la glucosa y los aminoácidos, son insolubles en los lípidos y demasiado grandes para atravesar los canales de membrana. Estos compuestos pueden seguir un mecanismo pasivo para cruzar la membrana mediante **proteínas transportadoras** especiales en un proceso llamado **difusión facilitada.** La molécula que vaya a pasar se une primero a un **punto receptor** perteneciente a una proteína integral de la membrana. A continuación, se dirige hacia el interior de la membrana plasmática y se libera en el citoplasma. La difusión facilitada o difusión simple no gasta ATP; en ambos casos, las moléculas se desplazan desde una zona de mayor concentración a otra de menor concentración.

Permeabilidad de la membrana: procesos activos

Todos los **procesos activos de la membrana** necesitan energía. Mediante su consumo, normalmente en forma de ATP, la célula puede transportar sustancias en *contra de sus gradientes de concentración.* Estudiaremos dos procesos de este tipo: el *transporte activo* y la *endocitosis.*

Transporte activo Cuando el enlace de alta energía que forma el ATP suministra la cantidad de energía necesaria para trasladar iones o moléculas a través de la membrana, el proceso se denomina **transporte activo.** Se trata de un mecanismo complejo y, aparte de las proteínas transportadoras, deben existir unas enzimas específicas. Aunque haga falta energía, este procedimiento ofrece una gran ventaja: no depende de ningún gradiente de concentración. Por consiguiente, la célula puede introducir o expulsar determinadas sustancias *sin contar con sus concentraciones intracelulares o extracelulares.*

Todas las células vivas realizan un transporte activo de sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Si además están especializadas, pueden desplazar otros iones más, como yoduro (I^-) o hierro (Fe^{2+}). Muchos de

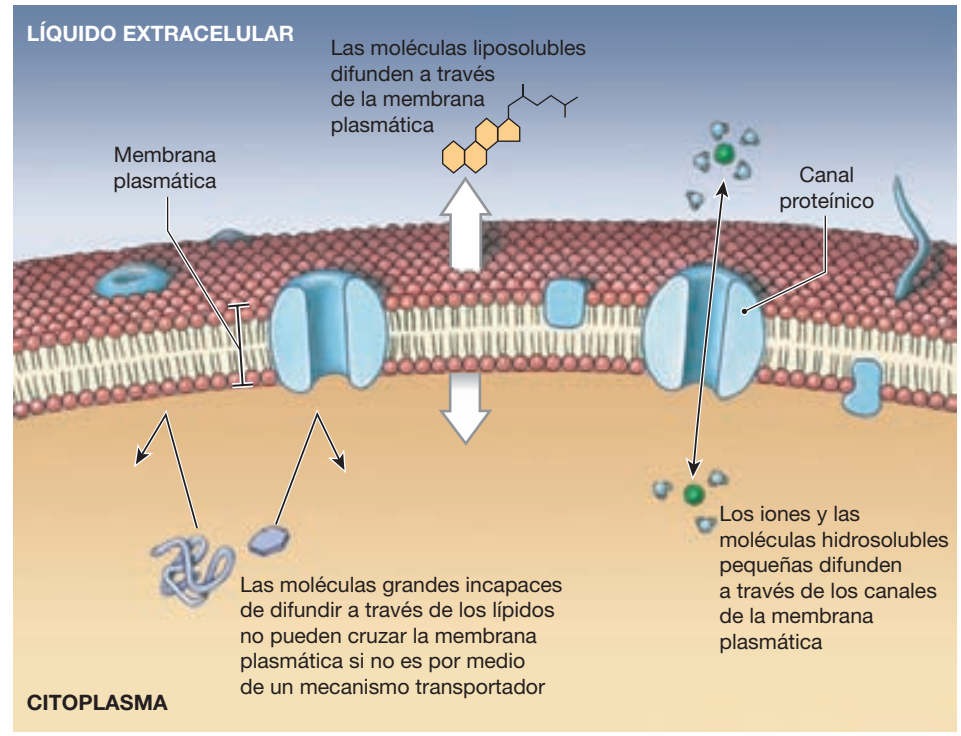

LÍQUIDO EXTRACELULAR
Las moléculas liposolubles difunden a través de la membrana plasmática
Membrana plasmática
Canal proteínico
Los iones y las moléculas hidrosolubles pequeñas difunden a través de los canales de la membrana plasmática
Las moléculas grandes incapaces de difundir a través de los lípidos no pueden cruzar la membrana plasmática si no es por medio de un mecanismo transportador
CITOPLASMA

Figura 2.6 Difusión a través de la membrana plasmática
Las moléculas hidrosolubles y los iones pequeños difunden mediante unos canales presentes en la membrana plasmática. Las moléculas liposolubles pueden cruzarla por difusión a través de la bicapa fosfolipídica. Las moléculas grandes no liposolubles no pueden pasar así de ningún modo.

estos mecanismos transportadores, denominados **bombas iónicas,** trasladan un catión o un anión específico en un sentido determinado, hacia dentro o hacia fuera de la célula. Si un ión se mueve en un sentido a la vez que otro lo hace en el sentido contrario, el transportador se llama **bomba de intercambio.** Las demandas energéticas de estas bombas son impresionantes; una célula en reposo puede utilizar hasta el 40% del ATP que produce en alimentar sus bombas de intercambio.

Endocitosis La incorporación de sustancias extracelulares dentro de una vesícula en la superficie de la célula para poder introducirlas en su interior se denomina **endocitosis.** Este proceso, que supone un volumen relativamente grande de material extracelular, a veces recibe el nombre de *transporte en masa.* Existen tres clases principales de endocitosis: *pinocitosis, fagocitosis* y *endocitosis mediada por receptores.* Las tres requieren energía en forma de ATP y por ello quedan clasificadas como procesos activos. Se piensa que su mecanismo es el mismo en todos los casos, pero todavía no se ha averiguado.

Cualquiera de estos tipos produce pequeños compartimentos unidos a la membrana, llamados *endosomas.* Una vez formada la vesícula por endocitosis, su contenido penetrará en el citosol sólo si puede atravesar su pared. Este paso puede entrañar un mecanismo de transporte activo, la difusión simple o facilitada, o la destrucción de la membrana vesicular.

Pinocitosis [v. figura 2.7a] La formación de *pinosomas,* o vesículas llenas de líquido extracelular, es el resultado de un proceso denominado **pinocitosis,** que supone la «bebida de la célula». En él, aparece un surco profundo o una bolsa a nivel de la membrana plasmática, que a continuación se desprende al estrangularse (v. figura 2.7a). Los nutrientes, como los lípidos, los glúcidos y los aminoácidos, acaban llegando al citoplasma por difusión o por transporte activo desde el líquido encerrado en su interior. La membrana del pinosoma regresa entonces a la superficie de la célula.

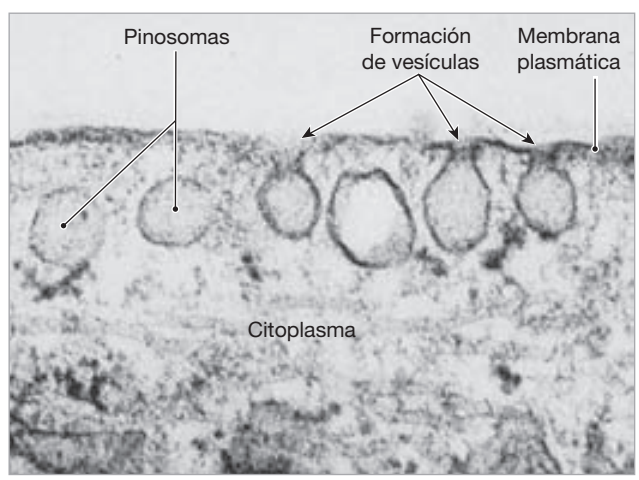
Prácticamente todas las células realizan así la pinocitosis. Hay unas cuantas especializadas, cuyos pinosomas se forman en un lado de la célula y se desplazan por el citoplasma hasta el lado contrario. Al llegar se fusionan con la membrana plasmática y vierten su contenido por el proceso de *exocitosis,* descrito más adelante en la página 42. Este método de transporte en masa está presente en las células que revisten los capilares, los vasos sanguíneos más finos. De este modo, utilizan la pinocitosis para trasladar líquido y solutos desde el torrente circulatorio hacia los tejidos a su alrededor.

Fagocitosis [v. figura 2.7b] Las células captan los objetos sólidos y los engloban dentro de vesículas mediante la **fagocitosis,** que supone la «comida de la célula». Este proceso genera unas vesículas que pueden llegar a tener el mismo tamaño que la célula, y aparece recogido en la figura 2.7b. Unas prolongaciones citoplásmicas llamadas **seudópodos** (*pseudo-,* falso + *podon,* pie) rodean al objeto, y sus membranas se fusionan para originar una vesícula llamada *fagosoma.* A continuación, el fagosoma puede unirse a un lisosoma, con lo que su contenido queda digerido por las enzimas lisosómicas.

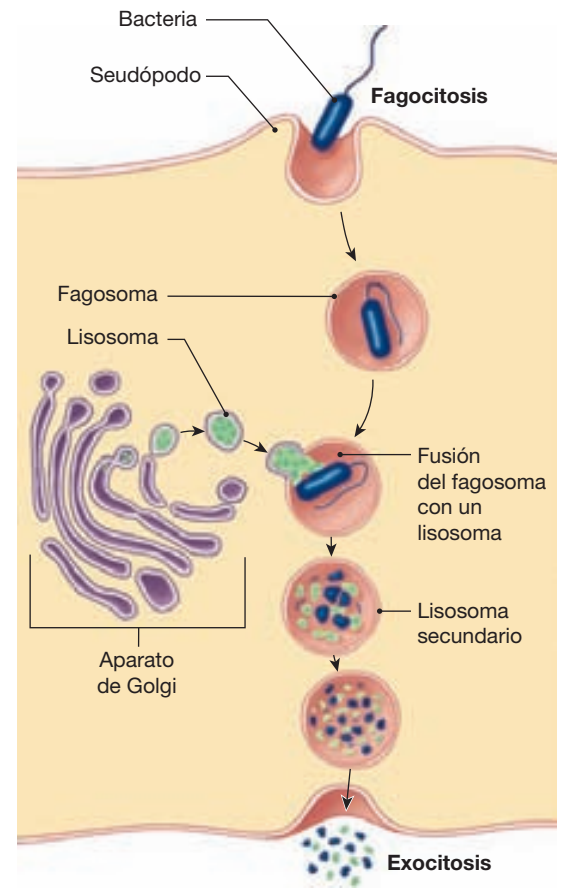
La mayoría de las células exhiben la pinocitosis, pero la fagocitosis, sobre todo en el caso del atrapamiento de células vivas o muertas, sólo lo efectúan las células especializadas del sistema inmunitario. Su actividad fagocítica se tratará en los capítulos dedicados a las células sanguíneas (v. capítulo 20) y el sistema linfático (v. capítulo 23).

Endocitosis mediada por receptores [v. figura 2.8 y tabla 2.2] Un proceso parecido a la pinocitosis, pero mucho más selectivo, recibe el nombre de **endocitosis mediada por receptores** (v. figura 2.8). La pinocitosis produce pinosomas llenos de líquido extracelular; la endocitosis mediada por receptores

Figura 2.7 Pinocitosis y fagocitosis
(a) Microfotografía electrónica que muestra la pinocitosis. **(b)** El material introducido en la célula por fagocitosis se encierra en un fagosoma y más tarde se expone a las enzimas lisosómicas. Tras la absorción de los nutrientes de la vesícula, el residuo se elimina por exocitosis.

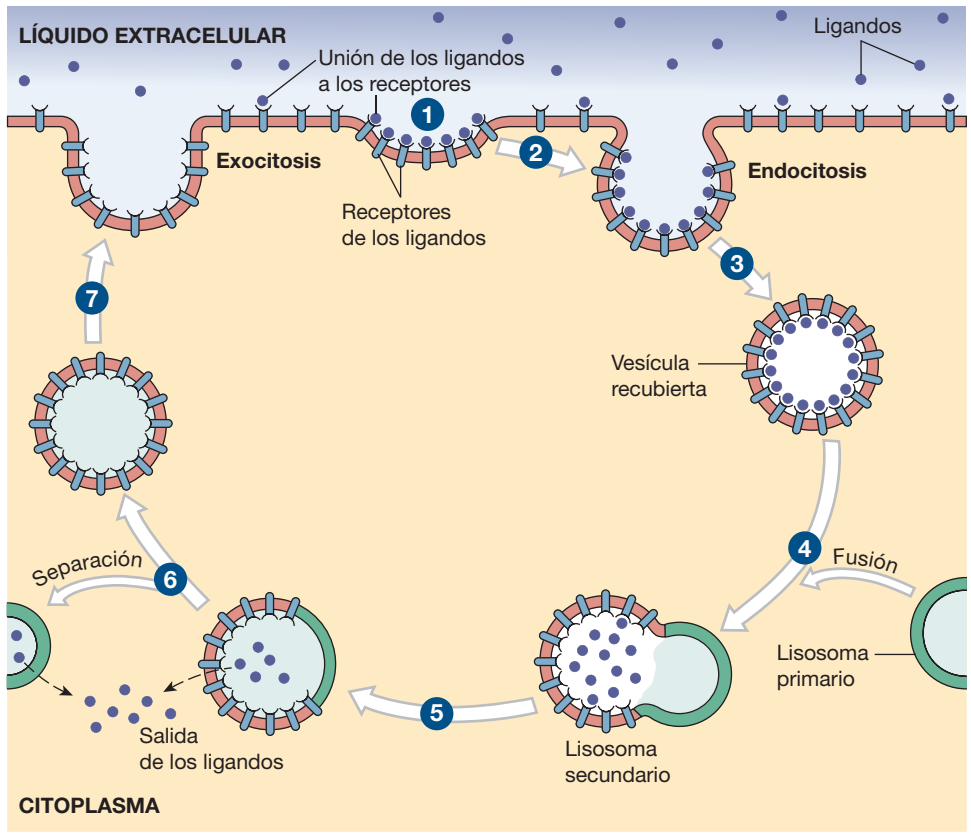


(a)



(b)

lo que genera son *vesículas recubiertas* que contienen una molécula específica dotada de algún interés particular y a elevadas concentraciones. Las sustancias elegidas, denominadas *ligandos,* se unen a los receptores sobre la superficie de la membrana. Muchos productos importantes, como el colesterol y los iones ferrosos (Fe^{2+}) se distribuyen por todo el cuerpo fijados a unas proteínas transportadoras especiales. En esta forma son demasiado grandes para atravesar los poros de la membrana, pero pueden penetrar en la célula mediante la endocitosis mediada por receptores. Al final, la vesícula recubierta acaba por volver a la superficie celular y se fusiona con la membrana plasmática. Cuando sucede esto, su contenido sale al líquido extracelular. Esta liberación es otro ejemplo más del proceso de exocitosis. En la tabla 2.2 se ofrece un resumen y una comparación entre los mecanismos que participan en el paso de la membrana plasmática.



Endocitosis mediada por receptores

1. Las moléculas elegidas (ligandos) se unen a los receptores en la membrana plasmática.
2. Las zonas recubiertas de ligandos forman unas bolsas profundas en la superficie de la membrana plasmática.
3. Las bolsas se desprenden por estrangulación, y forman unos endosomas denominados vesículas recubiertas.
4. Las vesículas recubiertas se fusionan con los lisosomas primarios para formar lisosomas secundarios.
5. Se extraen los ligandos y se absorben en el citoplasma.
6. Las membranas lisosómica y endosómica se separan.
7. El endosoma se fusiona con la membrana plasmática, y los receptores vuelven a quedar disponibles para la unión del ligando.

Figura 2.8 **Endocitosis mediada por receptores**

TABLA 2.2 Resumen de los mecanismos que participan en el movimiento a través de la membrana plasmática

Mecanismo	Proceso	Factores que influyen sobre la velocidad	Sustancias que intervienen
PASIVO			
Difusión	Movimiento molecular de solutos; sentido determinado por sus concentraciones relativas	Magnitud del gradiente, tamaño molecular, carga, solubilidad en las proteínas y los lípidos, temperatura	Pequeños iones inorgánicos, sustancias liposolubles (en todas las células)
Ósmosis	Movimiento de moléculas de agua (disolvente) en el sentido hacia las concentraciones mayores del soluto; requiere una membrana	Gradiente de concentración; presión contraria	Sólo agua (en todas las células)
Difusión facilitada	Las moléculas transportadoras trasladan sustancias a favor de un gradiente de concentración; requiere una membrana	Como antes, más la existencia de la proteína transportadora	Glucosa y aminoácidos (en todas las células)
ACTIVO			
Transporte activo	Moléculas transportadoras que funcionan pese a los gradientes de concentración contrarios	Existencia de un transportador, sustrato y ATP	Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} (en todas las células); probablemente otros solutos en casos especiales
Endocitosis	Formación de vesículas membranosas (endosomas) en la membrana plasmática, que contienen un material líquido o sólido	Estímulo y mecanismo desconocidos; requiere ATP	Líquidos, nutrientes (en todas las células); desechos, patógenos (en células especiales)
Exocitosis	Fusión con la membrana plasmática de vesículas que contienen líquidos y/o sólidos	Estímulo y mecanismo conocido parcialmente; requiere ATP e iones de calcio	Líquido y residuos (en todas las células)

Prolongaciones de la membrana plasmática: microvellosidades

Microvellosidades [v. figura 2.9a,b] La membrana plasmática tiene unas pequeñas extensiones digitiformes que se denominan **microvellosidades.** Estas estructuras están presentes en las células dedicadas a la absorción activa de sustancias desde el líquido extracelular, como sucede en el intestino delgado y en los riñones (**v. figura 2.9a,b**). Las microvellosidades son importantes porque aumentan la superficie expuesta al medio extracelular, lo que incrementa la absorción. Una red de microfilamentos dan rigidez a cada microvellosidad y la fijan a la *red terminal,* un entramado denso de sostén que pertenece al citoesqueleto subyacente. Las interacciones entre estos microfilamentos y el citoesqueleto pueden dar lugar al nacimiento de una onda o una inclinación. Sus movimientos contribuyen a que el líquido circule en torno a las microvellosidades, y ponga en contacto los nutrientes disueltos con los receptores sobre la superficie de la membrana.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué término se utiliza para describir la permeabilidad de la membrana plasmática?
2. Explique los procesos de ósmosis y difusión. ¿En qué se diferencian?
3. ¿Cuáles son las tres clases principales de endocitosis? ¿En qué se diferencian?
4. Las células que tapizan el intestino delgado presentan numerosas prolongaciones digitiformes sobre su superficie libre. ¿Qué son estas estructuras y cuál es su función?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Citoplasma

El término general aplicado a todo el material contenido en el interior de la célula es **citoplasma.** El citoplasma contiene muchas más proteínas que el líquido extracelular y las proteínas representan un 15%-30% del peso de la célula. Comprende dos subdivisiones principales:

1. *Citosol* o líquido intracelular. El citosol contiene nutrientes disueltos, iones, proteínas solubles e insolubles y productos de desecho. La membrana plasmática lo separa del líquido extracelular que lo rodea.
2. Los *orgánulos* son unas estructuras intracelulares que cumplen funciones específicas.

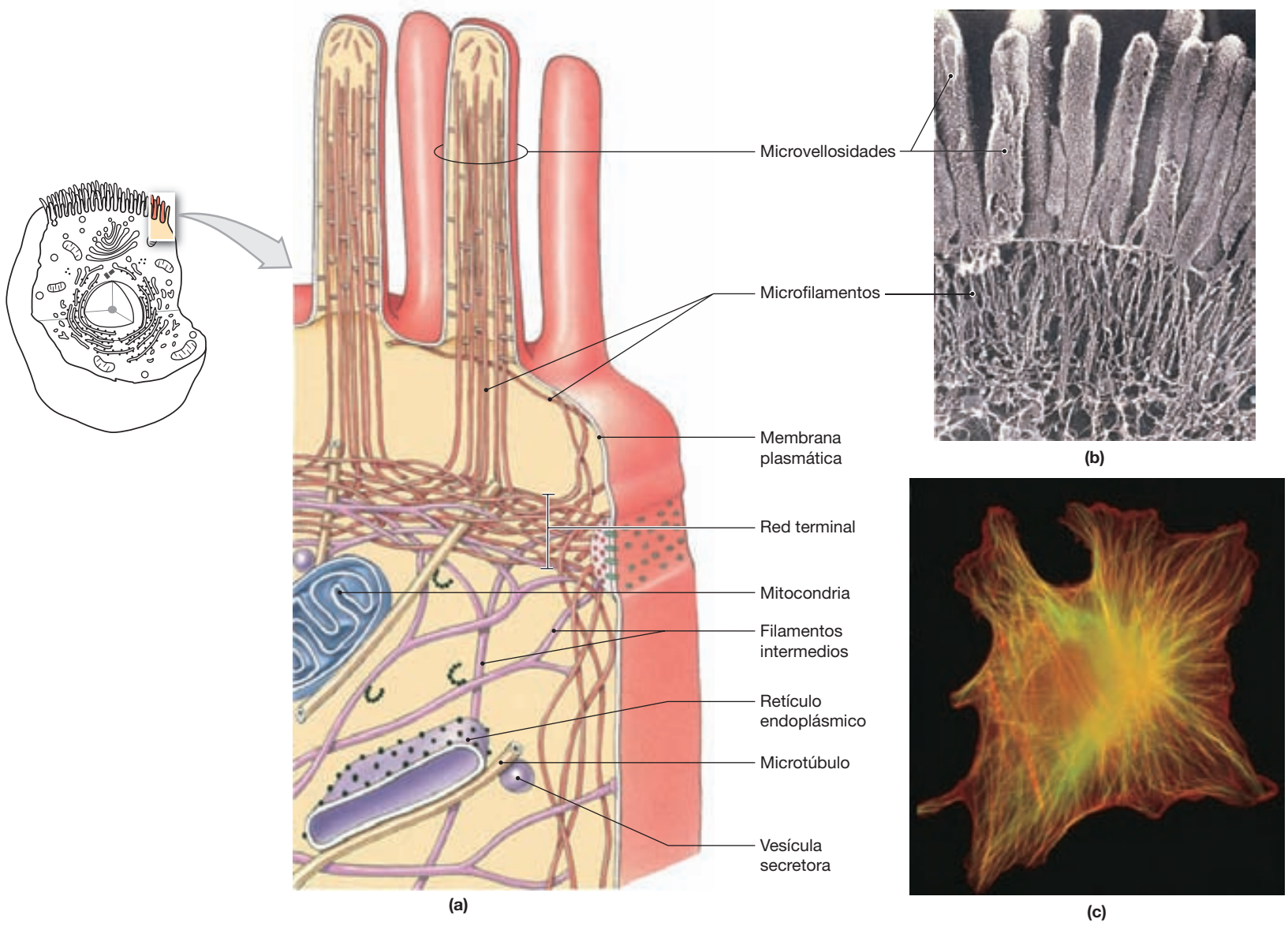


Figura 2.9 Citoesqueleto

(a) El citoesqueleto aporta resistencia y apoyo estructural a la célula y sus orgánulos. Las interacciones entre sus elementos también son importantes para desplazar los orgánulos y modificar la forma de la célula. **(b)** Imagen de MEB de los microfilamentos y las microvellosidades de una célula intestinal. **(c)** Microtúbulos en una célula viva, observados tras un marcado fluorescente especial (MO × 3.200).

Citosol

El citosol es considerablemente distinto del líquido extracelular. Básicamente guarda con él tres diferencias importantes:

1. El citosol contiene una concentración elevada de iones de potasio, mientras que en el líquido extracelular es de iones de sodio. La cantidad de iones positivos y negativos no está en equilibrio a ambos lados de la membrana; el exterior posee un exceso neto de cargas positivas y el interior, de cargas negativas. Esta separación desigual de las cargas crea un *potencial de membrana,* como si fuera una pila en miniatura. La trascendencia de este fenómeno quedará clara en el capítulo 13.
2. El citosol presenta una concentración relativamente alta de proteínas disueltas y en suspensión. Muchas son enzimas que regulan las operaciones metabólicas, mientras que otras están asociadas a los diversos orgánulos. Estas proteínas le conceden una consistencia que varía entre la del jarabe de arce claro y la gelatina casi cuajada.
3. El citosol contiene unas cantidades relativamente pequeñas de carbohidratos y grandes depósitos de aminoácidos y lípidos. Los carbohidratos se degradan para obtener energía y los aminoácidos se emplean para fabricar proteínas. Los lípidos almacenados en la célula se utilizan sobre todo como fuente de energía cuando no quedan carbohidratos.

El citosol de las células contiene unas masas de material insoluble que se denominan **inclusiones** o *cuerpos de inclusión.* Las más habituales tienen como función la conservación de nutrientes; por ejemplo, gránulos de glucógeno en las células del hígado o el músculo estriado y gotitas lipídicas en los adipocitos.

Orgánulos [v. figura 2.3]

Los orgánulos están presentes en todas las células del cuerpo (v. figura 2.3, p. 29), aunque varíe su clase y su número entre los diversos tipos celulares. Cada uno cumple unas funciones específicas que son fundamentales para la estructura normal de la célula, su mantenimiento y/o su metabolismo. Los orgánulos celulares pueden dividirse en dos amplias categorías (v. tabla 2.1, p. 30): 1) los **orgánulos sin membrana,** que están en contacto permanente con el citosol, y 2) los **orgánulos con membrana,** rodeados por una capa que aísla su contenido del citosol, igual que la membrana plasmática aísla el citosol del líquido extracelular.

Orgánulos sin membrana

Los orgánulos sin membrana son el *citoesqueleto,* los *centríolos,* los *cilios,* los *flagelos* y los *ribosomas.*

Citoesqueleto [v. figura 2.9]

El armazón de proteínas interno que concede resistencia y flexibilidad al citoplasma es el **citoesqueleto,** que consta de cuatro componentes fundamentales: *microfilamentos, filamentos intermedios, filamentos gruesos* y *microtúbulos.* Ninguna de estas estructuras puede observarse con el microscopio óptico.

Microfilamentos [v. figura 2.9] Se da el nombre de **microfilamentos** a unas hebras delgadas compuestas sobre todo por la proteína **actina.** En la mayoría de las células, están repartidos por todo el citosol y forman una densa red bajo la membrana plasmática. La figura 2.9a,b muestra las capas superficiales de microfilamentos en una célula intestinal.

Los microfilamentos desempeñan dos funciones básicas:

1. Los microfilamentos sujetan el citoesqueleto a las proteínas integrales de la membrana plasmática. Esta función estabiliza la posición de estas últimas, proporciona a la célula una resistencia mecánica añadida y fija con firmeza la membrana plasmática al citoplasma subyacente.
2. Los microfilamentos de actina pueden interactuar con otros microfilamentos o estructuras mayores compuestas por la proteína **miosina.** Esta interacción es capaz de generar el movimiento activo de una porción de la célula o cambiar su forma total.

Filamentos intermedios Los filamentos intermedios se definen principalmente por su tamaño; su composición varía de un tipo celular a otro. Los filamentos intermedios: 1) proporcionan resistencia; 2) estabilizan los orgánulos en su posición, y 3) transportan sustancias en el interior del citoplasma. Por ejemplo, en las neuronas hay unos filamentos intermedios especializados, llamados **neurofilamentos,** que brindan un apoyo estructural dentro de los *axones,* unas largas prolongaciones celulares que pueden medir hasta un metro de longitud.

Filamentos gruesos [v. figura 2.9a] Hay unos filamentos relativamente grandes compuestos por subunidades de la proteína miosina, y no representados en la figura 2.9, que se denominan **filamentos gruesos.** Son abundantes en los miocitos, donde interactúan con los filamentos de actina para provocar una contracción potente.

Microtúbulos [v. figuras 2.9a,c/2.10] Todas las células presentan unos tubos huecos llamados **microtúbulos,** que están hechos de la proteína **tubulina.** Las figuras 2.9a,c y 2.10 muestran los microtúbulos en el citoplasma de varias células representativas. Un microtúbulo se forma por la agregación de moléculas de tubulina; persiste durante un tiempo y después se desmonta de nuevo en moléculas sueltas de tubulina. La colección de microtúbulos queda centrada cerca del núcleo de la célula, en una región denominada *centrosoma.* Desde ahí, los microtúbulos irradian hacia fuera dirigiéndose a la periferia celular.

Los microtúbulos cumplen toda una diversidad de funciones:

1. Los microtúbulos constituyen el componente primordial del citoesqueleto, con lo que otorgan a la célula resistencia y rigidez, y fijan la situación de los orgánulos principales.
2. La reunión y/o disgregación de los microtúbulos proporciona a la célula un mecanismo para cambiar de forma, circunstancia que tal vez colabora en el movimiento celular.
3. Los microtúbulos pueden unirse a los orgánulos y a otras sustancias intracelulares, y desplazarlas por toda la célula.
4. Durante la división celular, los microtúbulos configuran el *huso* que distribuye los cromosomas duplicados hacia los extremos opuestos de la célula en división. Este proceso se analizará con mayor detalle en un apartado posterior.
5. Los microtúbulos forman un componente estructural de ciertos orgánulos como los *centríolos,* los *cilios* y los *flagelos.* Aunque todos ellos estén asociados a la membrana plasmática, se estudian entre los orgánulos sin membrana porque no tienen una capa propia de cierre.

En su conjunto, el citoesqueleto incluye los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos contenidos en una red que se extiende por todo el citoplasma. Hasta el momento no se conocen bien sus detalles de organización, pues es una malla sumamente delicada y difícil de estudiar en su estado íntegro.

Centríolos, cilios y flagelos [v. figura 2.10 y tabla 2.3]

El citoesqueleto contiene numerosos microtúbulos que funcionan por separado. Al agruparse forman *centríolos, cilios* y *flagelos.* Estas estructuras se resumen en la tabla 2.3.

Centríolos [v. figura 2.10a] Un **centríolo** es una estructura cilíndrica compuesta de microtúbulos cortos (v. figura 2.10a). Tiene nueve grupos y cada uno consiste en un triplete de microtúbulos. Como no hay ninguno central, su organización se denomina *disposición 9 + 0.* Esta manera de identificarlos señala el número de grupos periféricos que están orientados en un anillo, más la cantidad

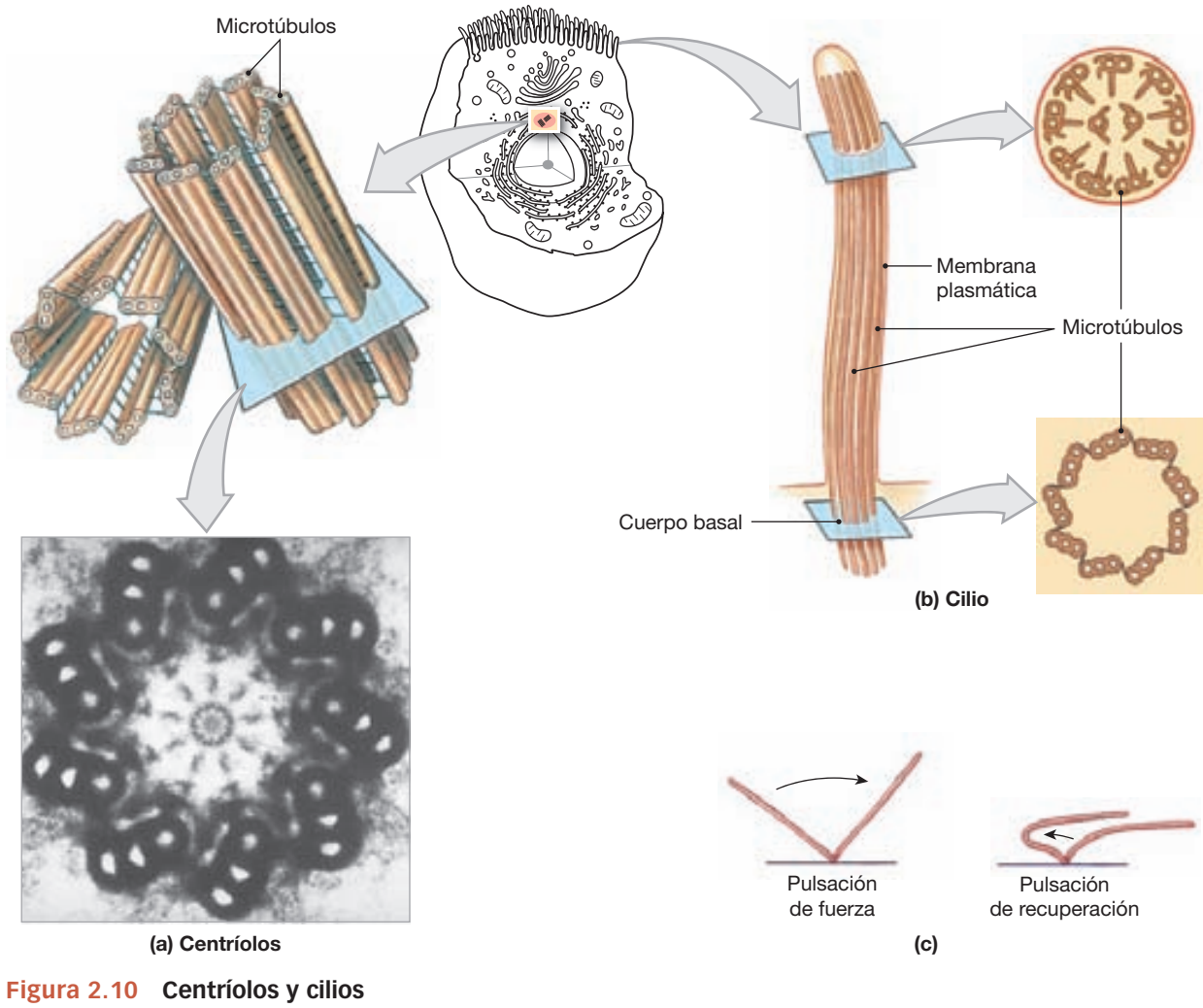


Figura 2.10 Centríolos y cilios
(a) Un centríolo consta de nueve tripletes de microtúbulos (disposición 9 + 0). El centrosoma contiene un par de centríolos orientados perpendiculares entre sí. **(b)** Un cilio contiene nueve pares de microtúbulos que rodean a un par central (disposición 9 + 2). **(c)** Un cilio aislado se balancea hacia adelante y luego vuelve a su posición inicial. Durante la pulsación de fuerza, está relativamente rígido, pero en la de recuperación se dobla y avanza paralelo a la superficie celular.

TABLA 2.3 Comparación entre los centríolos, los cilios y los flagelos

Estructura	Organización de los microtúbulos	Localización	Función
Centríolo	Nueve grupos de tripletes de microtúbulos forman un cilindro corto	En el centrosoma cerca del núcleo	Organiza los microtúbulos en el huso para movilizar los cromosomas durante la división celular
Cilio	Nueve grupos de parejas de microtúbulos largos forman un cilindro alrededor de un par central	En la superficie celular	Propulsa los líquidos o los sólidos a lo largo de la superficie celular
Flagelo	Igual que el cilio	En la superficie celular	Propulsa los espermatozoides en un líquido

de microtúbulos que quedan situados en su centro. Sin embargo, algunas preparaciones muestran una estructura axial de sentido paralelo al eje mayor del centríolo, con unos rayos radiales que salen hacia fuera dirigidos a los grupos de microtúbulos. No se conoce la función de este complejo. Las células capaces de dividirse contienen un par de centríolos que forman un ángulo recto entre sí. Los centríolos dirigen el movimiento de los cromosomas durante la división celular (lo que se explica más adelante en este capítulo). Las células que no se dividen, como los glóbulos rojos maduros y los miocitos estriados, carecen de centríolos. El **centrosoma** es la región del citoplasma que rodea a este par de centríolos. Dirige la organización de los microtúbulos en el citoesqueleto.

Cilios [v. figura 2.10b,c] Los **cilios** contienen nueve grupos de dobletes de microtúbulos alrededor de un par central (v. figura 2.10b). Esto se denomina *disposición 9 + 2.* Se encuentran sujetos a un **cuerpo basal** compacto situado justo bajo la superficie celular. La estructura de este cuerpo basal guarda un parecido con la de un centríolo. La porción del cilio que queda al descubierto está tapada del todo por la membrana plasmática. Los cilios «baten» rítmicamente, tal como está representado en la figura 2.10c y la combinación de sus acciones lleva los líquidos o las secreciones de un lado a otro de la superficie celular. En las vías respiratorias este movimiento está sincronizado para desplazar hacia la garganta el moco pegajoso y las partículas de polvo atrapadas en él, con el fin de alejarlas de las delicadas superficies respiratorias. Si los cilios están alterados o inmovilizados en fumadores importantes o pacientes con algún trastorno metabólico, se pierde la función de limpieza, y los irritantes dejarán de extraerse. Como consecuencia, se desarrollan infecciones respiratorias crónicas.

Flagelos Los **flagelos** *(flagellum,* látigo) se parecen a los cilios, pero son mucho más largos. Un flagelo desplaza a la célula a través del líquido que la rodea, en vez de mover el líquido alrededor de una célula quieta. El espermatozoide es la única célula humana que tiene un flagelo y lo utiliza para desplazarse a lo largo del aparato genital femenino. Si los flagelos de los espermatozoides están paralizados o tienen alguna otra alteración, el individuo será estéril, porque los espermatozoides inmóviles no son capaces de llegar al ovocito (gameto femenino) y fecundarlo.

Ribosomas [v. figura 2.11]

Los **ribosomas** son pequeñas estructuras densas que no son visibles con el microscopio óptico. En una microfotografía electrónica, aparecen como unos gránulos densos más o menos de 25 nm de diámetro (**v. figura 2.11a**). Están presentes en todas las células, pero su número varía según el tipo celular y sus actividades. Cada ribosoma está compuesto aproximadamente por un 60% de ARN y un 40% de proteínas. Se han identificado un mínimo de 80 proteínas ribosómicas. Estos orgánulos son unas factorías intracelulares que fabrican proteínas, mediante la información suministrada por el ADN del núcleo. Un ribosoma está formado por dos subunidades que se engranan al empezar la síntesis de las proteínas. Una vez acabada, se separan.

Existen dos clases fundamentales de ribosomas: libres y fijos (**v. figura 2.11a**). Los **ribosomas libres** se encuentran esparcidos por todo el citoplasma; las proteínas que preparan llegan al citosol. Los **ribosomas fijos** están unidos al *retículo endoplásmico,* un orgánulo con membrana. Las proteínas elaboradas por ellos llegan a la *luz,* o cavidad interna, del retículo endoplásmico, donde sufren modificaciones y quedan englobadas para su posterior expulsión. Estos procesos se detallan más adelante en este capítulo.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué repercusión tendría la ausencia del flagelo en un espermatozoide?
2. Identifique las dos principales subdivisiones del citoplasma y la función de cada una.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Orgánulos con membrana

Cada orgánulo con membrana está rodeado por completo por una bicapa fosfolipídica de estructura semejante a la membrana plasmática. Su presencia aísla el contenido del citosol que lo rodea. Esta situación permite la fabricación o la acumulación de secreciones, enzimas o toxinas capaces de ejercer una influencia negativa sobre el citoplasma en general. La tabla 2.1 de la p. 30 recoge seis tipos de orgánulos con membrana: las *mitocondrias,* el *núcleo,* el *retículo endoplásmico,* el *aparato de Golgi,* los *lisosomas* y los *peroxisomas.*

Mitocondrias [v. figura 2.12]

Las **mitocondrias** *(mitos,* hilo + *chondrion,* gránulos pequeños) son orgánulos provistos de una membrana doble atípica (**v. figura 2.12**). Su capa externa rodea todo el orgánulo y una segunda interna contiene numerosos pliegues, llamados **crestas.** Las crestas amplían la superficie expuesta a las sustancias líquidas de la mitocondria, o **matriz.** Esta matriz presenta unas enzimas metabólicas que ejecutan las reacciones encargadas de suministrar la energía necesaria para llevar a cabo las funciones celulares.

Las enzimas ligadas a las crestas producen la mayor parte del ATP generado por las mitocondrias. La actividad mitocondrial origina alrededor del 95% de la energía necesaria para mantener viva una célula. Las mitocondrias forman este ATP mediante la descomposición de moléculas orgánicas en una serie de reacciones que también consumen oxígeno (O_2) y emiten dióxido de carbono (CO_2).

Las mitocondrias adoptan diversas configuraciones: pueden ser largas y delgadas, o cortas y gruesas. Estas estructuras son capaces de controlar su propia conservación, crecimiento y reproducción. El número varía en una célula concreta según las demandas de energía que registre. Los glóbulos rojos carecen de mitocondrias dado que obtienen su energía por otros medios, pero los hepatocitos y los miocitos estriados llegan específicamente a tener hasta 300. Los miocitos presentan una gran tasa de consumo energético y la reproducción de las mitocondrias es su respuesta final ante una mayor demanda de energía. La elevación de su población puede proporcionar más energía y a mayor velocidad, circunstancias que mejoran el funcionamiento muscular.

Núcleo [v. figuras 2.13/2.14]

El **núcleo** es el centro de control de las operaciones celulares. Un solo núcleo acumula toda la información necesaria para regular la síntesis de las aproximadamente 100.000 proteínas diferentes del cuerpo humano. El núcleo determina las características estructurales y funcionales de la célula al encargarse de qué proteínas se fabrican y en qué cantidades. La mayoría de las células contienen un solo núcleo, pero hay alguna excepción. Por ejemplo, los miocitos estriados se denominan *multinucleados* (*multi-,* muchos) porque poseen numerosos

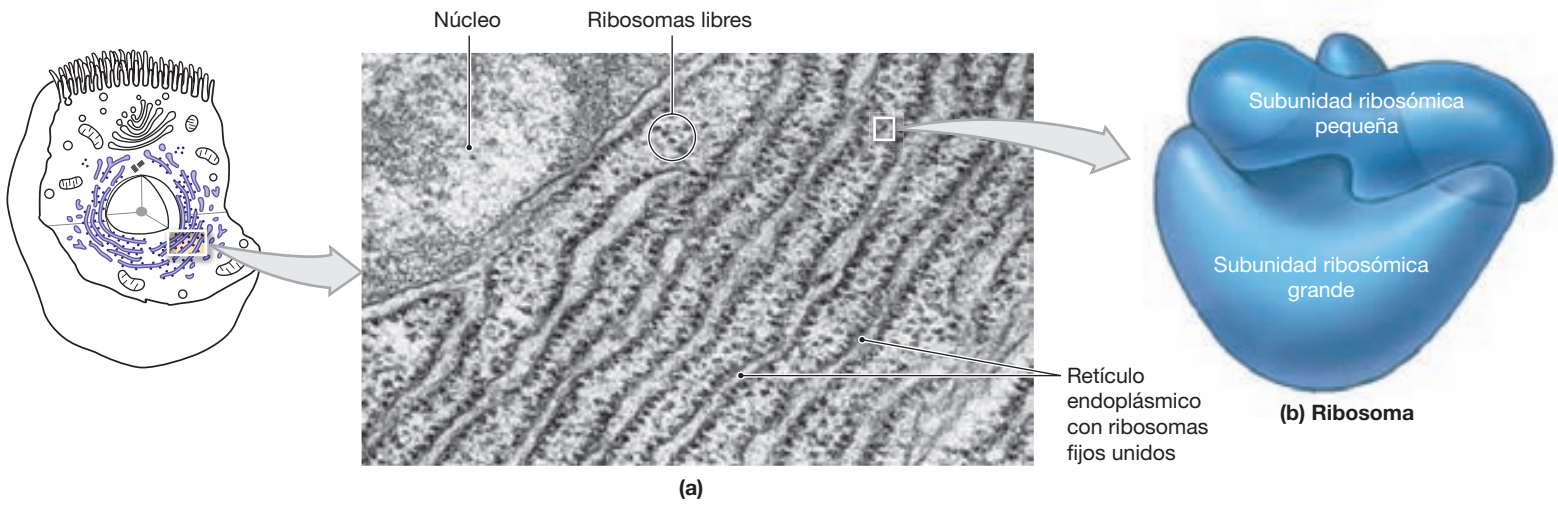


Figura 2.11 Ribosomas
Estas pequeñas estructuras densas intervienen en la síntesis de proteínas. **(a)** En el citoplasma de esta célula pueden verse ribosomas tanto libres como fijos (MET × 73.600). **(b)** Un ribosoma suelto, que consta de subunidades pequeña y grande.

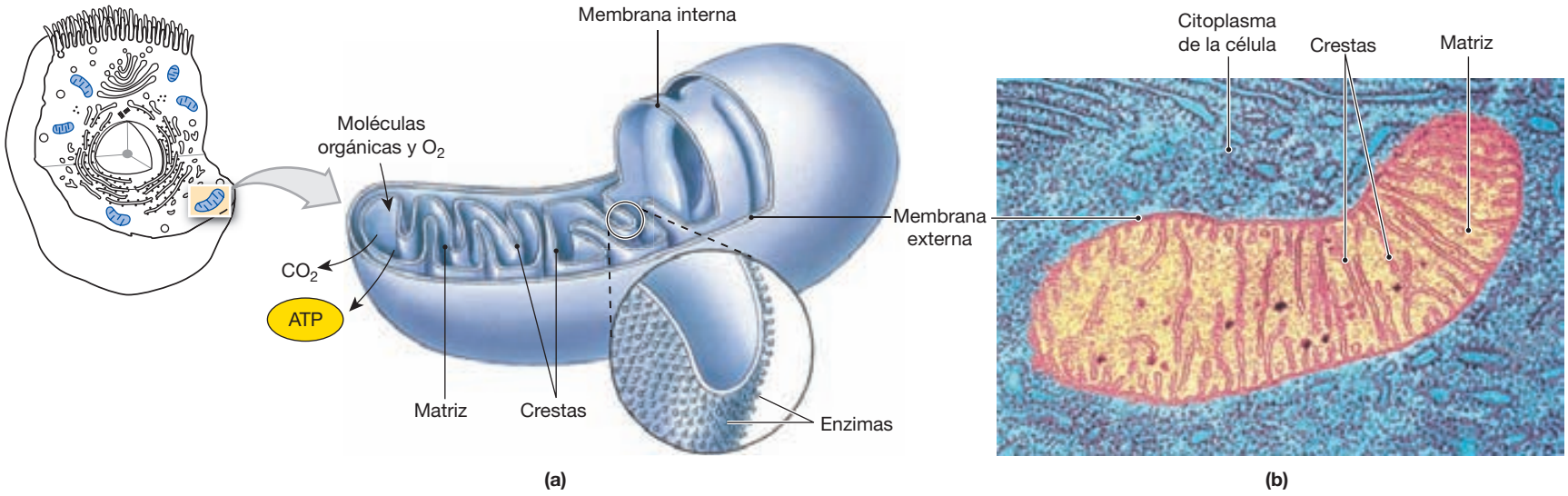


Figura 2.12 Mitocondria
(a) Organización tridimensional de una mitocondria. **(b)** MET realzada con color de una mitocondria típica cortada (MET × 61.776).

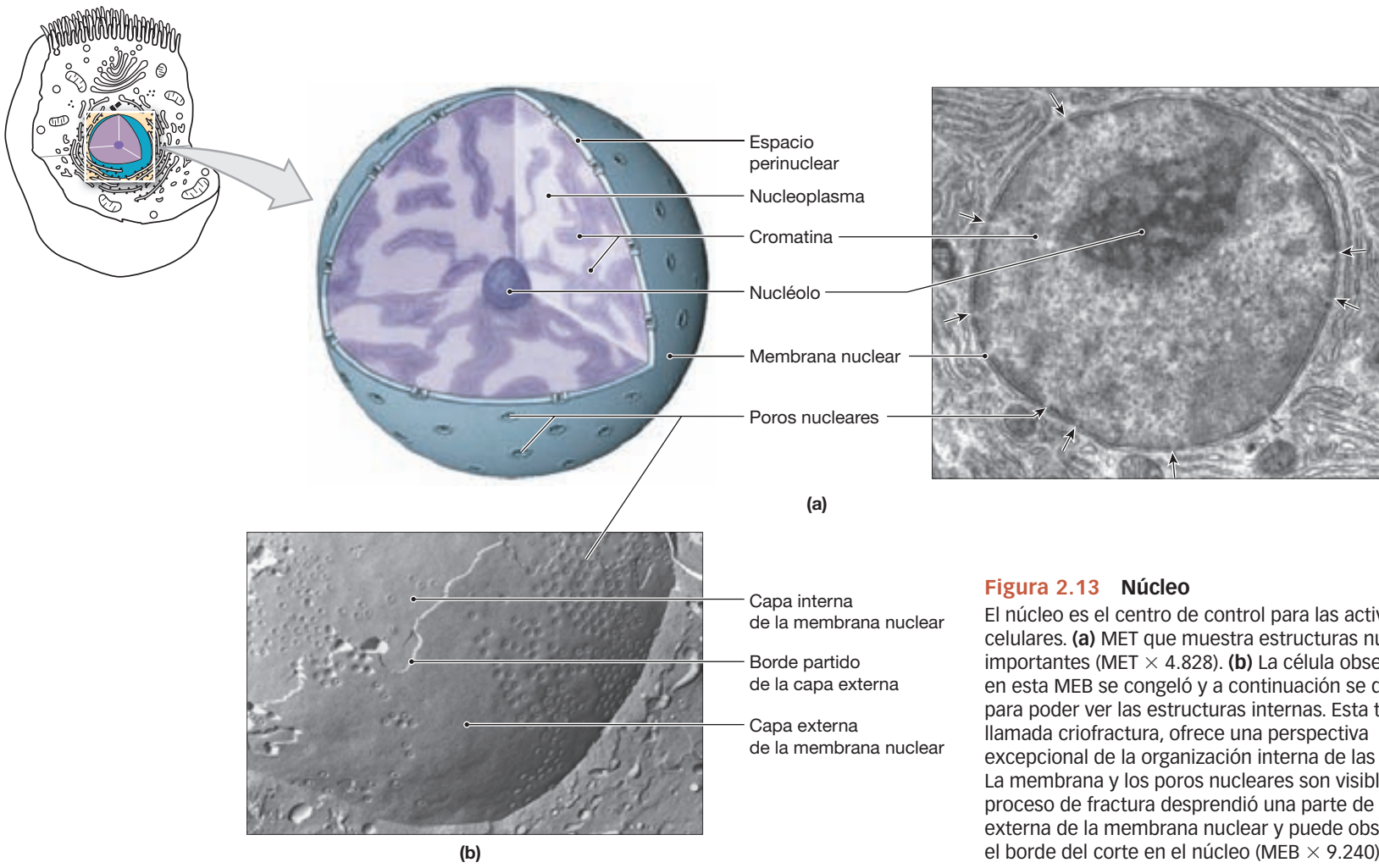


Figura 2.13 Núcleo
El núcleo es el centro de control para las actividades celulares. **(a)** MET que muestra estructuras nucleares importantes (MET × 4.828). **(b)** La célula observada en esta MEB se congeló y a continuación se dividió para poder ver las estructuras internas. Esta técnica, llamada criofractura, ofrece una perspectiva excepcional de la organización interna de las células. La membrana y los poros nucleares son visibles; el proceso de fractura desprendió una parte de la capa externa de la membrana nuclear y puede observarse el borde del corte en el núcleo (MEB × 9.240).

núcleos, mientras que los glóbulos rojos maduros reciben el nombre de *anucleados* (*a-*, sin) porque carecen de núcleo. Una célula sin núcleo podría compararse a un coche sin conductor. Sin embargo, un coche puede permanecer parado durante años, mientras que una célula sin núcleo no sobrevivirá más que 3 o 4 meses.

La figura 2.13 detalla la estructura de un núcleo típico. Una **membrana nuclear** lo rodea y lo separa del citosol. Se trata de una membrana doble que engloba un estrecho **espacio perinuclear** (*peri-*, alrededor). La membrana nuclear se encuentra conectada al retículo endoplásmico rugoso en diversos puntos, tal como se observa en la figura 2.3, p. 29.

El núcleo dirige los procesos que tienen lugar en el citosol y, a su vez, debe recibir información sobre las condiciones que allí reinan y las actividades que suceden. La comunicación química entre núcleo y citosol ocurre a través de los **poros nucleares,** un complejo de proteínas que regula el movi-

miento de entrada y salida de las macromoléculas en el núcleo. Estos poros, que ocupan más o menos el 10% de la superficie nuclear, permiten el paso de agua, iones y pequeñas moléculas, pero controlan el de las proteínas grandes, el ARN y el ADN.

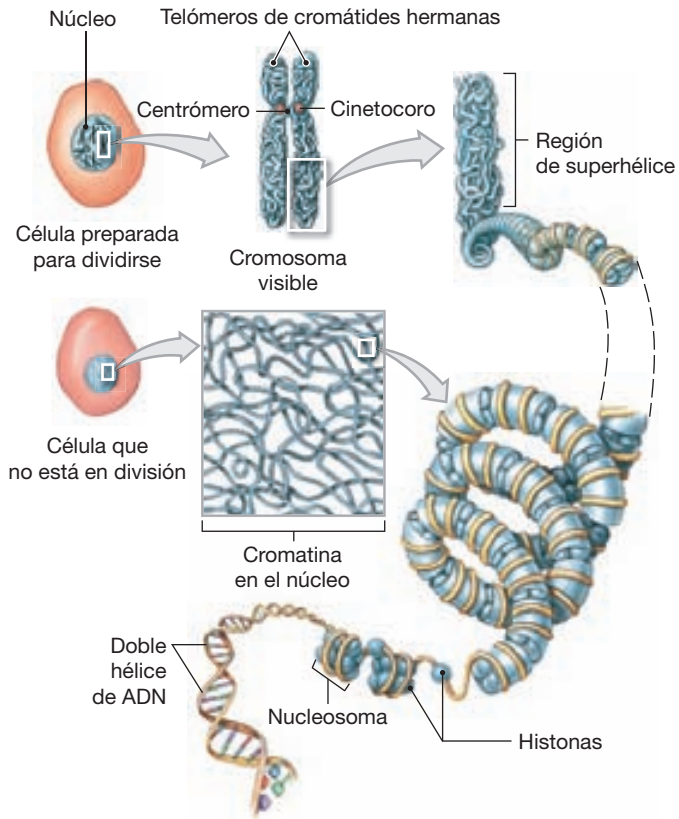


Figura 2.14 Estructura del cromosoma
Las hebras de ADN se enrollan alrededor de las histonas para formar nucleosomas. Los nucleosomas constituyen espirales que pueden estar muy apretadas o bastante holgadas. En las células que no estén en división, el ADN se sitúa en espirales sueltas, lo que crea una red enmarañada que recibe el nombre de cromatina. Cuando la espiral se cierra más, como sucede al prepararse para la división celular, el ADN se vuelve visible en unas estructuras nítidas llamadas cromosomas.

El término **nucleoplasma** designa el contenido líquido del núcleo. El nucleoplasma lleva iones, enzimas, nucleótidos del ARN y del ADN, proteínas, pequeñas cantidades de ARN, y ADN. Las hebras del ADN forman estructuras complejas denominadas *cromosomas (chroma,* color). El nucleoplasma también presenta una red de filamentos finos, la **matriz nuclear,** que aporta un sostén estructural y puede participar en la regulación de la actividad genética. Cada **cromosoma** está compuesto por hebras de ADN unidas a unas proteínas especiales llamadas **histonas.** El núcleo de todas las células posee 23 pares de cromosomas; un componente de cada par procede de la madre y el otro del padre. La estructura de un cromosoma típico se esquematiza en la figura 2.14.

De trecho en trecho, las hebras de ADN se enroscan alrededor de las histonas, y forman un complejo llamado **nucleosoma.** Toda la cadena de los nucleosomas puede enrollarse en torno a otras histonas. El grado de enroscamiento determina si el cromosoma es largo y delgado o corto y grueso. Los cromosomas de una célula en división forman espirales muy apretadas, y por eso se les puede ver con claridad como estructuras independientes en las microfotografías ópticas o electrónicas. Si la célula no está en división, la espiral queda más holgada y produce un ovillo de filamentos finos que recibe el nombre de **cromatina.** Cada cromosoma puede tener regiones algo enrolladas, y sólo estas zonas se tiñen con nitidez. Como consecuencia, el núcleo adopta un aspecto aglutinado granulado.

Los cromosomas también ejercen un control directo sobre la síntesis del ARN. La mayoría de los núcleos contienen entre una y cuatro áreas de tinción oscura, llamadas **nucléolos.** Los nucléolos son orgánulos nucleares encargados de generar los componentes de los ribosomas. Un nucléolo posee histonas y enzimas, así como ARN, y surge alrededor de una región cromosómica que porta las instrucciones genéticas para producir las proteínas ribosómicas y el ARN. Los nucléolos son más prominentes en las células que fabrican grandes cantidades de proteínas, como los hepatocitos y los miocitos, porque necesitan un número elevado de ribosomas.

Retículo endoplásmico [v. figura 2.15]

El **retículo endoplásmico,** o **RE,** es una red de membranas intracelulares que forma tubos huecos, láminas aplanadas y cavidades redondeadas (v. figura 2.15). Las cavidades se denominan **cisternas** *(cisterna,* depósito de agua).

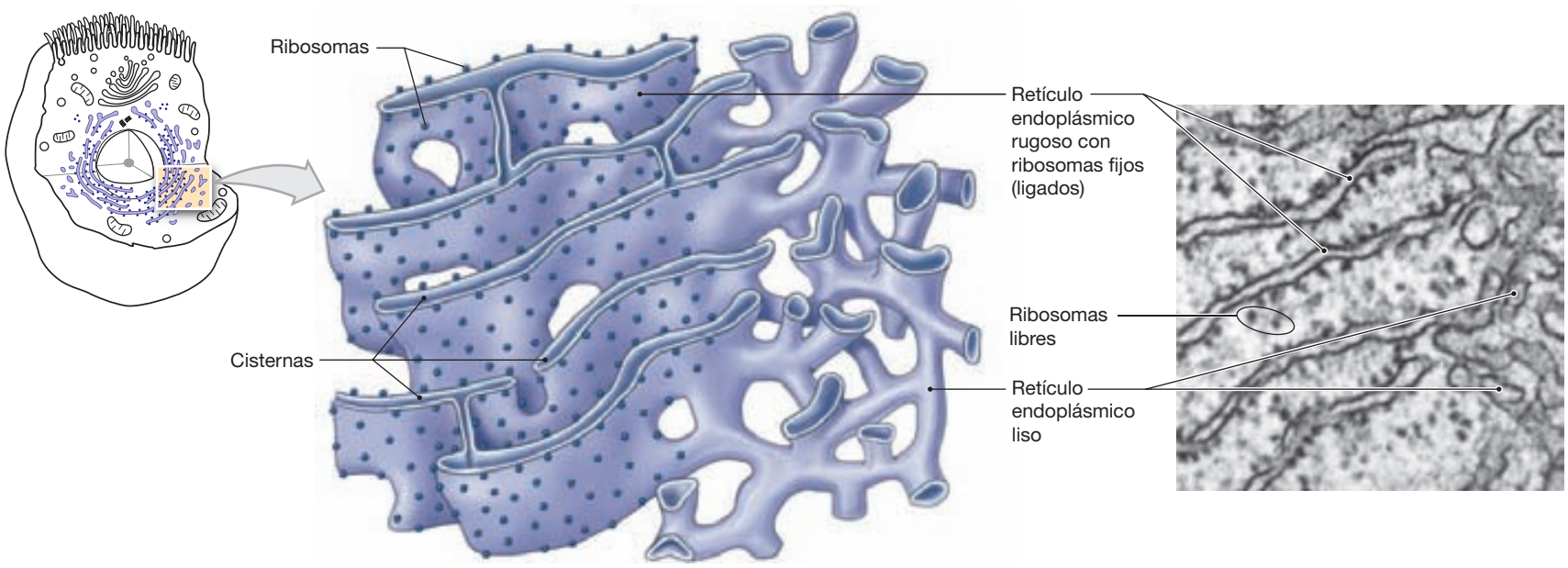


Figura 2.15 Retículo endoplásmico
Este orgánulo es una red de membranas intracelulares. En este caso, un dibujo esquemático muestra las relaciones tridimensionales entre el retículo endoplásmico rugoso y el liso.

El RE cumple cuatro funciones principales:

1. *Síntesis:* la membrana del retículo endoplásmico contiene enzimas que generan carbohidratos, esteroides y lípidos; las zonas con ribosomas fijos sintetizan proteínas. Los productos elaborados se guardan en las cisternas del RE.
2. *Almacenamiento:* el RE puede apartar las moléculas sintetizadas o las sustancias absorbidas del citosol sin que influyan sobre las demás operaciones celulares.
3. *Transporte:* las sustancias pueden circular de un lugar a otro de la célula dentro del retículo endoplásmico.
4. *Desintoxicación:* el RE puede absorber las toxinas celulares y neutralizarlas con las enzimas presentes en su membrana.

Así pues, el RE actúa como un taller de mezclas, un lugar de depósito y una terminal de envío. Es el lugar donde muchas proteínas recién sintetizadas sufren modificaciones químicas y donde se las prepara para expulsarlas hacia su próximo destino, el *aparato de Golgi.* Hay dos tipos diferentes de retículo endoplásmico, el **retículo endoplásmico rugoso (RER)** y el **retículo endoplásmico liso (REL).**

La cara externa del retículo endoplásmico rugoso lleva fijos los ribosomas. Estas estructuras sintetizan proteínas siguiendo las instrucciones facilitadas por una hebra de ARN. A medida que crecen las cadenas polipeptídicas, entran en las cisternas del retículo endoplásmico, donde pueden volver a modificarse. La mayor parte de las proteínas y glucoproteínas producidas por el RER quedan envueltas en pequeñas bolsas con membrana que se desprenden por estrangulación de los bordes o las superficies del RE. Estas **vesículas transportadoras** llevan las proteínas hasta el aparato de Golgi.

En cambio, no hay ningún ribosoma vinculado al retículo endoplásmico liso. El REL cumple una diversidad de funciones que giran en torno a la síntesis de lípidos, esteroides y carbohidratos, el almacenamiento de iones de calcio y la extracción e inactivación de toxinas.

La cantidad de retículo endoplásmico presente y la proporción entre el RER y el REL varían según el tipo de célula y las actividades que estén en marcha. Por ejemplo, las células pancreáticas que elaboran las enzimas digestivas poseen un RER abundante y el REL es relativamente pequeño. La situación es la inversa en las células de los órganos genitales que sintetizan hormonas esteroideas.

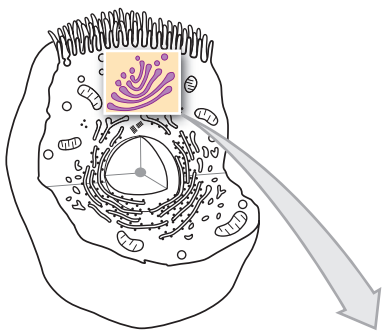
Aparato de Golgi [v. figura 2.16]

El **aparato de Golgi,** o *complejo de Golgi,* consta de unos discos de membrana aplanados que reciben el nombre de *cisternas.* Un aparato de Golgi representativo, como el de la **figura 2.16**, está compuesto por cinco a seis cisternas. Las células en fase de secreción activa tienen cisternas más grandes y numerosas que las que están en reposo. Cuando el proceso es más intenso, presentan varias series de cisternas y cada una se parece a una pila de platos llanos. Lo más frecuente es que estas pilas estén situadas cerca del núcleo de la célula.

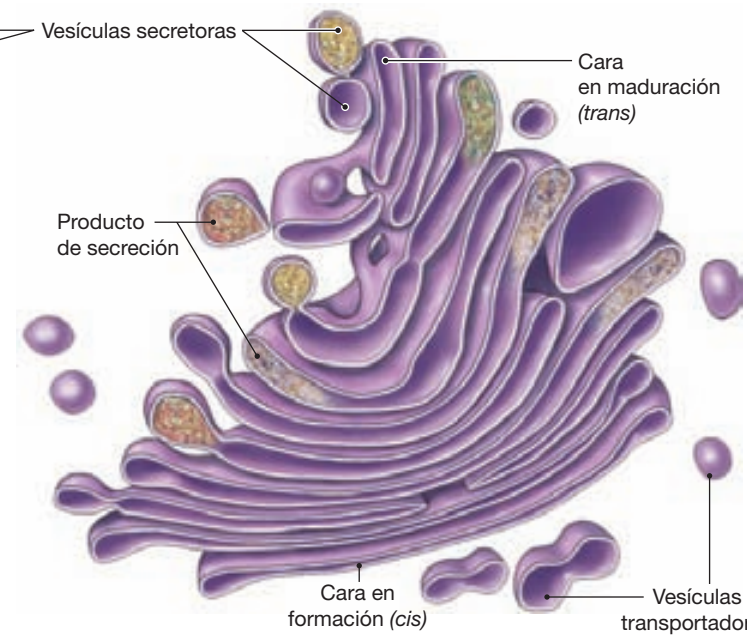
Las principales funciones del aparato de Golgi son las siguientes:

1. Síntesis y envoltura de las secreciones, como mucinas o enzimas.
2. Empaquetamiento de enzimas especiales para su uso en el citosol.
3. Renovación o modificación de la membrana plasmática.

Las cisternas de Golgi comunican con el RE y con la superficie de la célula. Este contacto conlleva la formación de vesículas, su movimiento y su fusión.



(a)



(b)

Figura 2.16 Aparato de Golgi
(a) Vista de un corte del aparato de Golgi en una célula en fase de secreción activa (MET × 83.520). **(b)** Visión tridimensional del aparato de Golgi con el borde del corte correspondiente a la parte (a).

Transporte, traslado y secreción de vesículas [v. figura 2.17] En la figura 2.17a está representada la función que desempeña el aparato de Golgi para envolver las secreciones. La síntesis de proteínas y glucoproteínas tiene lugar en el RER, y a continuación las vesículas transportadoras (paquetes) llevan estos productos hasta el aparato de Golgi. Las vesículas suelen llegar a una cisterna convexa denominada *cara de formación* (o *cara cis*). Allí se fusionan con la membrana de Golgi y vierten su contenido a las cisternas, donde las enzimas modifican las proteínas y glucoproteínas que han entrado.

El material se desplaza entre las cisternas por medio de pequeñas **vesículas de transferencia.** Finalmente, el producto llega a la *cara de maduración* (o *cara trans*). A este nivel, se forman unas vesículas que extraen las sustancias del aparato de Golgi. Si contienen secreciones que la célula va a emitir se denominan **vesículas secretoras.** Su expulsión tiene lugar cuando la membrana de una vesícula secretora se fusiona con la membrana plasmática. Este proceso de liberación recibe el nombre de **exocitosis** (v. figura 2.17b).

Recambio de la membrana Como el aparato de Golgi no deja de añadir nuevas membranas a la superficie celular, con el paso del tiempo posee la capacidad de modificar las propiedades de la membrana plasmática. Tales cambios pueden alterar profundamente la sensibilidad y las funciones de una célula. Si está en fase de secreción activa, las membranas del aparato de Golgi llegan a sufrir una renovación completa cada 40 minutos. La parte perdida por el aparato de Golgi se suma a la superficie celular y esta incorporación se compensa con la formación de vesículas en la superficie de la membrana. Por consiguiente, cada hora puede sustituirse un área semejante a toda su extensión.

Lisosomas [v. figura 2.18]

Muchas de las vesículas producidas en el aparato de Golgi jamás salen del citoplasma. De ellas, las más importantes son los lisosomas. Los **lisosomas** (*lyso-*, disolución + *soma,* cuerpo) son vesículas, llenas de unas enzimas digestivas formadas por el retículo endoplásmico rugoso e introducidas en su interior por el aparato de Golgi. Consulte la figura 2.18, en la que describimos los tipos de lisosomas y sus funciones. Los *lisosomas primarios* contienen enzimas inactivas. Su activación sucede cuando el lisosoma se fusiona con las membranas de algún orgánulo dañado, como las mitocondrias o los fragmentos de retículo endoplásmico. Esta fusión crea un *lisosoma secundario,* cargado de enzimas activas. A continuación, su acción degrada el material lisosómico. Los nutrientes vuelven a entrar en el citosol y los productos de desecho sobrantes se eliminan por exocitosis.

Los lisosomas también intervienen en la defensa contra las enfermedades. Mediante el proceso de endocitosis, las células pueden suprimir bacterias de su entorno, lo mismo que líquidos y residuos orgánicos, y aislarlos en el interior de vesículas. Al fusionarse con las vesículas surgidas de esta forma, las enzimas digestivas transportadas por los lisosomas secundarios descomponen su contenido y liberan las sustancias aprovechables, como los glúcidos o los aminoácidos. De esta manera, la célula no sólo se protege contra los microorganismos patógenos, sino que también obtiene valiosos nutrientes.

Los lisosomas también cumplen unas funciones de limpieza y reciclado dentro de la célula, que resultan fundamentales. Por ejemplo, cuando los miocitos están inactivos, los lisosomas degradan poco a poco sus proteínas contráctiles; si las células recuperan de nuevo la actividad, esta destrucción cesa. Dicho mecanismo regulador falla en una célula alterada o muerta. En tal caso, los lisosomas se desintegran, y descargan las enzimas activas hacia el citosol. Su acción destruye con rapidez las proteínas y los orgánulos de la célula, proceso llamado **autólisis** (*auto-*, mismo). Como la ruptura de las membranas lisosómicas puede acabar con la célula, los lisosomas han recibido la denominación de «bolsas suicidas» celulares. No sabemos cómo controlar las actividades lisosómicas o por qué las enzimas encerradas no digieren sus membranas a no ser que la célula sufra alguna afectación. Los problemas relacionados con la producción de enzimas lisosómicas causan más de 30 enfermedades graves en los niños. En estos trastornos, llamados *enfermedades lisosómicas por almacenamiento,* la ausencia de una enzima específica suya desemboca en la acumulación de productos de desecho y residuos que los lisosomas normalmente se encargan de eliminar y reciclar. Las personas que las padecen pueden fallecer cuando deje de funcionar cualquier célula vital, como las cardíacas.

Peroxisomas

Los **peroxisomas** son más pequeños que los lisosomas y contienen un grupo diferente de enzimas. Las enzimas peroxisómicas las forman los ribosomas libres en el interior del citoplasma. A continuación, se introducen en las membranas de peroxisomas preexistentes. Por tanto, los nuevos peroxisomas son el resultado del reciclado celular de otros más antiguos que ya no contienen enzimas activas.

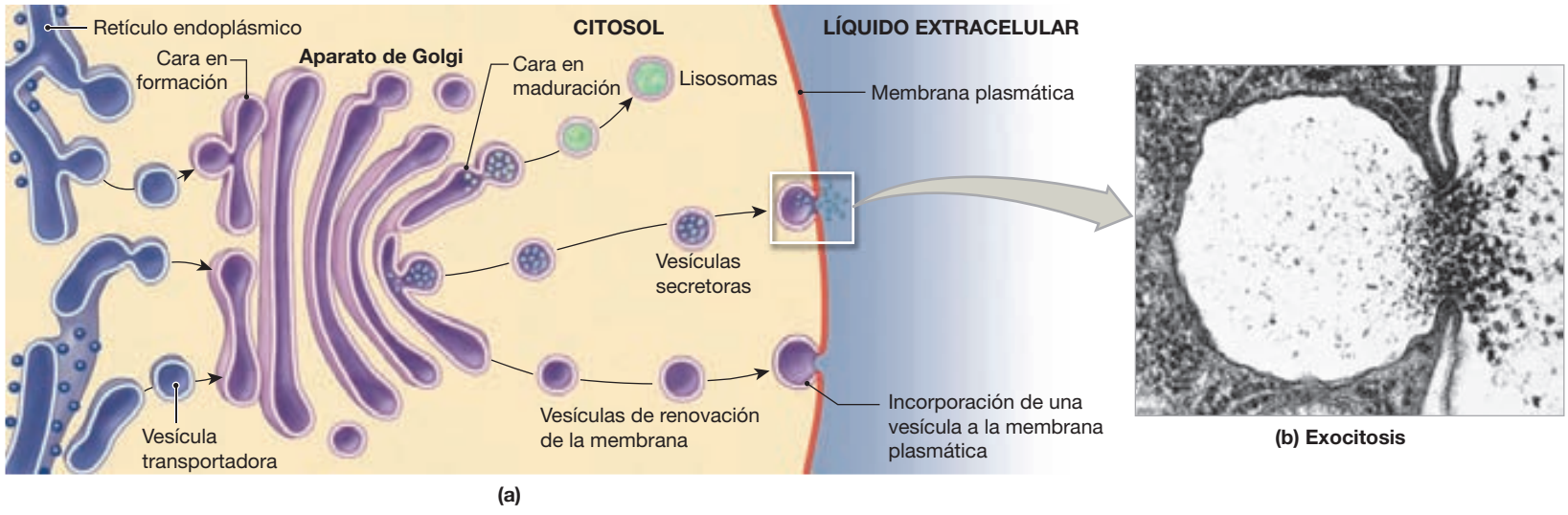
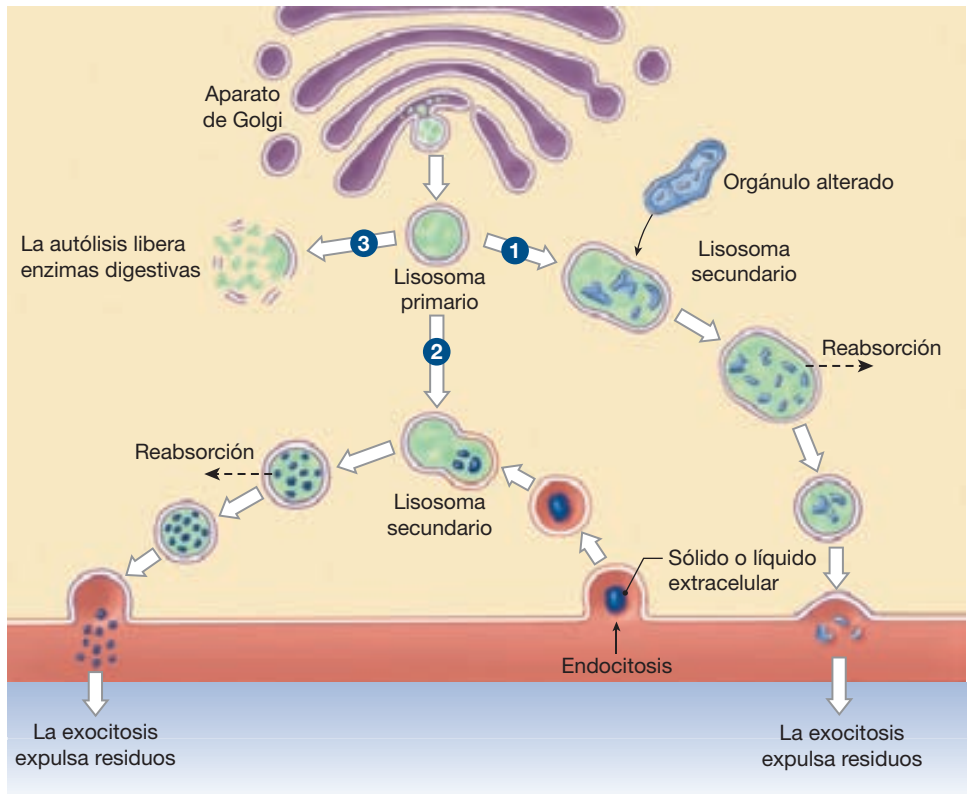


Figura 2.17 Función del aparato de Golgi

(a) Este esquema muestra la conexión funcional entre el RE y el aparato de Golgi. La estructura de este se ha simplificado para aclarar las relaciones entre las membranas. Las vesículas transportadoras llevan el producto de secreción desde el retículo endoplásmico hasta el aparato de Golgi, y las de transferencia desplazan la membrana y las sustancias entre las cisternas del aparato de Golgi. En la cara en maduración, aparecen tres categorías funcionales de vesículas. Las vesículas secretoras llevan la secreción desde el aparato de Golgi hasta la superficie de la célula, donde la exocitosis libera sus contenidos hacia el líquido extracelular. Otras vesículas añaden superficie y proteínas integrales a la membrana plasmática. Los lisosomas, que permanecen en el citoplasma, son vesículas llenas de enzimas. **(b)** Exocitosis en la superficie de una célula.



La activación de los lisosomas sucede cuando:

1. Un lisosoma primario se fusiona con la membrana de otro orgánulo, como una mitocondria.
2. Un lisosoma primario se fusiona con un endosoma que contenga sustancias líquidas o sólidas procedentes del exterior de la célula.
3. La membrana lisosómica se rompe (autólisis), con lesión o muerte de la célula.

Figura 2.18 Funciones de los lisosomas

Los lisosomas primarios, formados en el aparato de Golgi, contienen enzimas inactivas. Su activación puede suceder en tres circunstancias básicas: **(1)** cuando el lisosoma primario se fusiona con la membrana de otro orgánulo, como una mitocondria; **(2)** cuando el lisosoma primario se fusiona con una vesícula endocitósica que lleve sustancias líquidas o sólidas procedentes del exterior de la célula, o **(3)** en la autólisis, cuando se rompe la membrana lisosómica, con la lesión o la muerte de la célula.

Los peroxisomas absorben y degradan los ácidos grasos y otros compuestos orgánicos. La actividad enzimática en su interior puede formar sustancias tóxicas, por ejemplo, producir agua oxigenada como derivado; después, otras enzimas lo convierten en agua. Los peroxisomas son más abundantes en los hepatocitos, que eliminan y neutralizan los productos tóxicos absorbidos por el tubo digestivo.

Flujo de membrana

Con la excepción de las mitocondrias, todos los orgánulos celulares con membrana presentan conexiones o comunicaciones entre ellos mediante el movimiento de vesículas. El RER y el REL se encuentran en continuidad y están asociados a la membrana nuclear. Las vesículas transportadoras ponen en contacto el RE con el aparato de Golgi, y las vesículas secretoras enlazan este último con la membrana plasmática. Por último, las vesículas que se forman en la superficie de la célula al descubierto eliminan y reciclan segmentos de la membrana plasmática. Este movimiento e intercambio constante se denomina **flujo de membrana.**

El flujo de membrana es otro ejemplo más sobre la naturaleza dinámica de las células. Su existencia las facilita un mecanismo para modificar las características de la membrana plasmática (lípidos, receptores, canales, anclajes y enzimas) al crecer, madurar o responder a un estímulo ambiental específico.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. El examen microscópico de una célula revela que contiene muchas mitocondrias. ¿Qué quiere decir esta observación con respecto a sus necesidades energéticas?
2. Las células de los ovarios y los testículos presentan grandes cantidades de retículo endoplásmico liso (REL). ¿Por qué?
3. ¿Qué sucede si se desintegran los lisosomas en una célula alterada?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Unión intercelular [v. figura 2.19]

Muchas células forman uniones permanentes o temporales con otras células o con las sustancias extracelulares (**v. figura 2.19**). Las conexiones intercelulares a veces abarcan amplias zonas de dos membranas plasmáticas opuestas, o quedan concentradas en un lugar de unión especializado. Las grandes regiones de dos membranas plasmáticas enfrentadas pueden estar interconectadas por unas proteínas de membrana llamadas **moléculas de adhesión celular (MAC),** que se unen entre sí y con otras sustancias extracelulares. Por ejemplo, las MAC pertenecientes a la base fija de un epitelio sirven para sujetar su cara basal (por la que el epitelio está ligado a los tejidos subyacentes) a la lámina basal situada debajo de ella. Las membranas de las células adyacentes también pueden mantenerse pegadas por el **cemento intercelular,** una delgada capa de proteoglucanos. Estos proteoglucanos contienen unos derivados polisacáridos denominados *glucosaminoglucanos,* siendo el más notable el **hialuronano** *(ácido hialurónico).*

Hay tres tipos principales de **uniones celulares:** 1) *uniones intercelulares estrechas;* 2) *uniones intercelulares comunicantes,* y 3) *uniones intercelulares de anclaje.*

- En una **unión intercelular estrecha** (también denominada hermética o *zona de oclusión),* las porciones lipídicas de las dos membranas plasmáti-

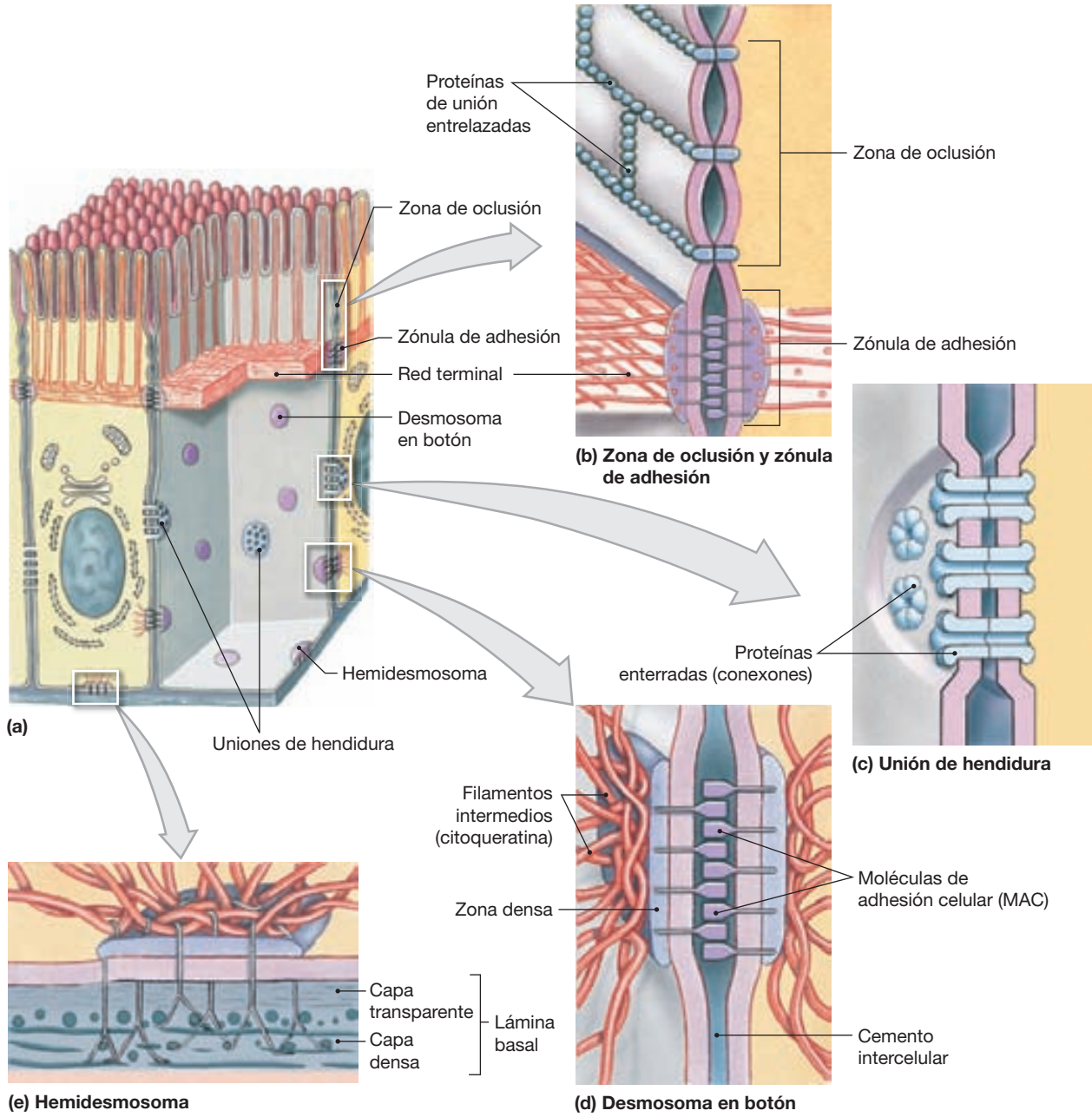


Figura 2.19 Uniones intercelulares

(a) Vista esquemática de una célula epitelial, que muestra los principales tipos de conexiones intercelulares. **(b)** Una unión hermética está formada por la fusión de las capas externas de las dos membranas plasmáticas. Esta apretada unión impide la difusión de líquidos y solutos entre las células. **(c)** Las uniones comunicantes permiten la difusión libre de iones y moléculas pequeñas entre dos células. **(d)** Las uniones de anclaje fijan una célula a otra. Un desmosoma posee una red más organizada de filamentos intermedios. Un cinturón de adhesión es un tipo de unión de anclaje que rodea a la célula. Este complejo está ligado a los microfilamentos de la red terminal. **(e)** Los hemidesmosomas sujetan una célula epitelial a las estructuras extracelulares, como las fibras proteícas de la lámina basal.

cas se encuentran firmemente ligadas por unas proteínas de membrana entrelazadas (v. figura 2.19b). En una zona de oclusión, las membranas plasmáticas apicales de las células adyacentes entran en íntimo contacto, lo que cierra cualquier espacio intercelular existente entre las dos células e impide la entrada de materiales a su interior. Esta barrera contra la difusión evita el paso de sustancias desde un lado de una célula epitelial a la otra a través del espacio intercelular, y así les exige que utilicen algún proceso activo (que necesita energía) para trasladar materiales entre ellas.

- En las **uniones intercelulares comunicantes** (también denominadas *zona de hendidura* o *nexos)*, las células se mantienen unidas por unas proteínas de membrana llamadas *conexones* (v. figura 2.19c). Como se trata de canales proteínicos, el resultado es un estrecho pasillo que deja circular iones, pequeños metabolitos y moléculas reguladoras de una célula a otra. Las uniones comunicantes son abundantes entre las células epiteliales, donde sirven para conjuntar funciones como el batido de los cilios. Su presencia también es frecuente en el tejido muscular cardíaco y liso, al ser fundamental para la coordinación de las contracciones entre los miocitos.
- Las **uniones intercelulares de anclaje** proporcionan una conexión mecánica entre las caras laterales o basales de dos células adyacentes (v. figura 2.19d). Estos enlaces mecánicos los llevan a cabo MAC y proteoglucanos que ligan las membranas opuestas y forman un anclaje con el citoesqueleto correspondiente a las células contiguas. Las

uniones de anclaje son muy resistentes y pueden aguantar el estiramiento y la torsión. En ellas, cada célula presenta un complejo proteínico estratificado en el interior de la membrana plasmática, que recibe el nombre de *zona densa.* Los filamentos del citoesqueleto compuestos por la proteína *citoqueratina* quedan fijados a esta zona densa. Se han identificado dos tipos de uniones de anclaje en la cara lateral de las células: la *zónula de adhesión* (también llamada *cinturón de adhesión)* y la *mácula de adhesión* (también llamada *desmosoma; desmos,* ligamento + *soma,* cuerpo). Una zónula de adhesión es una unión de anclaje laminar que sirve para estabilizar las células no epiteliales, mientras que un desmosoma consiste en pequeñas uniones de anclaje maculares que están localizadas y estabilizan las células epiteliales adyacentes (**v. figura 2.19d**). Estas conexiones son más abundantes entre las células de las capas superficiales de la piel, donde la zónula de adhesión crea unos vínculos tan fuertes que las células muertas se desprenden en láminas gruesas en vez de sueltas. Se han descubierto otras dos formas más de uniones de anclaje en la zona de apoyo del tejido epitelial sobre el tejido conjuntivo de la lámina basal. Las *adhesiones focales* (también denominadas *contactos focales)* son responsables de conectar los microfilamentos intracelulares con las fibras proteínicas de la lámina basal. Este tipo de uniones de anclaje es propio de aquellos tejidos epiteliales que sufren cambios dinámicos, como la migración de sus células durante el proceso de cicatrización. Los *hemidesmosomas* (**v. figura 2.19e**) están presentes en los tejidos epiteliales sometidos a un grado considerable de excoriación y a fuerzas de cizallamiento, y que requieren una fijación potente a la lámina basal subyacente. Se encuentran en lugares como la córnea de los ojos, la piel y las mucosas de la vagina, la cavidad bucal y el esófago.

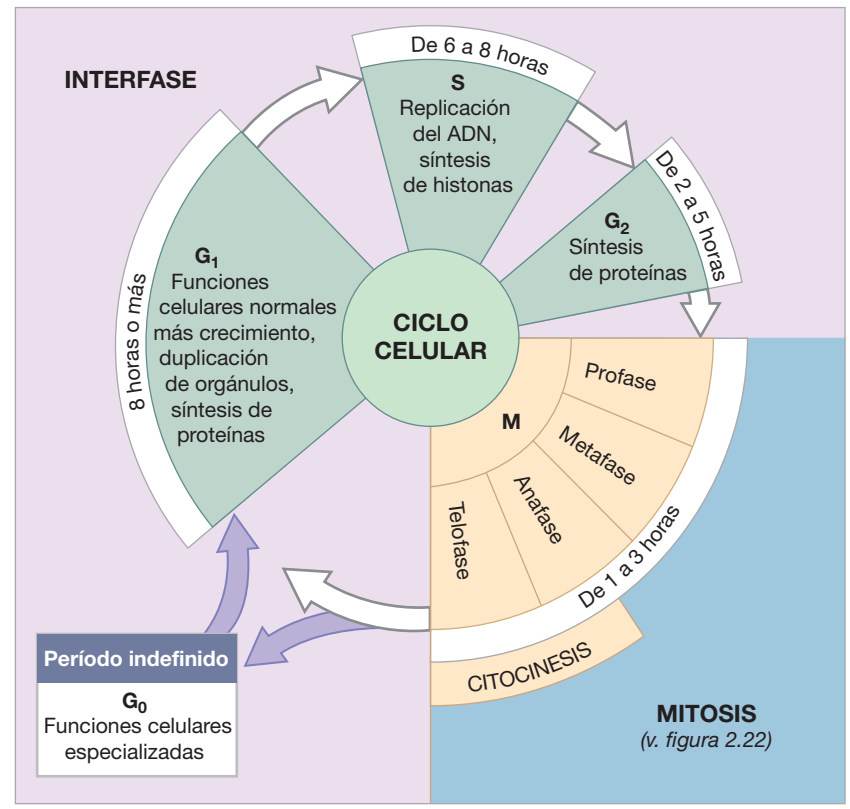


Figura 2.20 Ciclo vital de la célula
El ciclo celular se divide en interfase, que consta de las etapas G_1, S y G_2, y la fase G_M, que comprende la mitosis y la citocinesis. El resultado es la producción de dos células hijas idénticas.

Ciclo vital de la célula [v. figura 2.20]

Entre la fecundación y la madurez física, un ser humano crece en complejidad, pasando de tener una sola célula hasta llegar a unos 75.000 millones. Este aumento tan increíble en su número sucede mediante una forma de reproducción celular llamada **división celular.** La división de una sola célula produce un par de *células hijas,* cada una con la mitad del tamaño que la original. Por tanto, dos células nuevas han sustituido a la primitiva.

Incluso una vez acabado el desarrollo, la división celular sigue siendo esencial para la supervivencia. Aunque las células tienen una gran capacidad de adaptación, el desgaste físico, los productos químicos tóxicos, los cambios térmicos y otros peligros del entorno pueden dañarlas. Además, también están sometidas al envejecimiento. Su plazo de vida varía de horas a décadas, según el tipo del que se trate y las agresiones ambientales existentes. Una célula típica no vive ni por asomo tanto como una persona típica, por lo que las poblaciones celulares deben perdurar en el tiempo mediante la división celular.

El paso más importante en la división celular es la duplicación exacta del material genético de la célula, proceso llamado *replicación del ADN,* y la distribución de una copia de esta información a cada una de las dos nuevas células hijas. Este fenómeno de reparto se denomina **mitosis.** La mitosis tiene lugar durante la división de las células somáticas *(soma,* cuerpo), que son todas las que componen el organismo excepto las reproductivas, encargadas de originar los espematozoides o los ovocitos. Estas últimas se llaman *gametos;* se trata de células especializadas que contienen la mitad de los cromosomas presentes en las células somáticas. La producción de gametos supone un proceso distinto, la *meiosis,* que se describirá en el capítulo 28. En la **figura 2.20** se ofrece una visión general sobre el ciclo vital de una célula somática típica.

Interfase [v. figuras 2.20/2.21/2.22]

La mayoría de las células sólo pasan una pequeña parte de su tiempo dedicadas a la división celular activa. Las células somáticas pasan la mayor parte de su vida funcional en *interfase.* Durante la **interfase,** la célula realiza todas sus funciones normales y, si fuera preciso, se prepara para entrar en división. Cuando una célula se dispone a dividirse, la interfase puede distribuirse en las fases *G*$_1$, *S* y *G*$_2$ (**v. figura 2.20**). Una célula en interfase que esté en la **fase G_0** no se está preparando para la mitosis, sino que cumple todas sus demás funciones normales. Algunas células maduras, como los miocitos estriados y gran parte de las neuronas, permanecen en G_0 de manera indefinida y pueden no sufrir jamás una mitosis. Por el contrario, las *células progenitoras,* que se dividen repetidas veces con períodos de interfase muy breves, nunca entran en G_0.

En la **fase G_1** la célula fabrica suficientes mitocondrias, centríolos, elementos citoesqueléticos, retículo endoplásmico, ribosomas, membranas de Golgi y citosol como para producir dos células funcionales. En las que se dividen a la máxima velocidad, la G_1 puede llegar apenas a las 8-12 horas. Estas células invierten toda su energía en la mitosis, e interrumpen cualquier otra actividad. Si la G_1 dura días, semanas o meses, la preparación para la mitosis tiene lugar a la vez que la célula cumple sus funciones normales. Cuando ha acabado la preparación de la G_1, la célula entra en la **fase S.** Durante las 6 a 8 horas siguientes, duplica sus cromosomas, proceso que entraña la síntesis de ADN y de las histonas asociadas.

A lo largo de toda la vida de una célula, se mantienen íntegras las hebras de su ADN nuclear. La síntesis de ADN o **replicación del ADN,** sucede en aquellas células que se preparan para sufrir la mitosis o la meiosis. La meta de este proceso consiste en copiar la información genética del núcleo, de modo que pueda repartirse un juego de cromosomas a cada una de las dos células originadas. En su desarrollo hacen falta varias enzimas diferentes.

Replicación del ADN

Cada molécula de ADN consta de un par de hebras integradas por nucleótidos, que permanecen juntas a través de los puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas complementarias. La **figura 2.21** esquematiza el proceso de replicación del ADN. Este comienza cuando se rompen los puentes débiles entre las

bases nitrogenadas y las hebras se desenrollan. Al hacerlo, las moléculas de la enzima **polimerasa de ADN** se ligan a las bases nitrogenadas que han quedado al descubierto. Esta enzima favorece la unión entre las bases nitrogenadas de la hebra de ADN y los nucleótidos correspondientes al ADN complementario que estén en suspensión por el nucleoplasma.

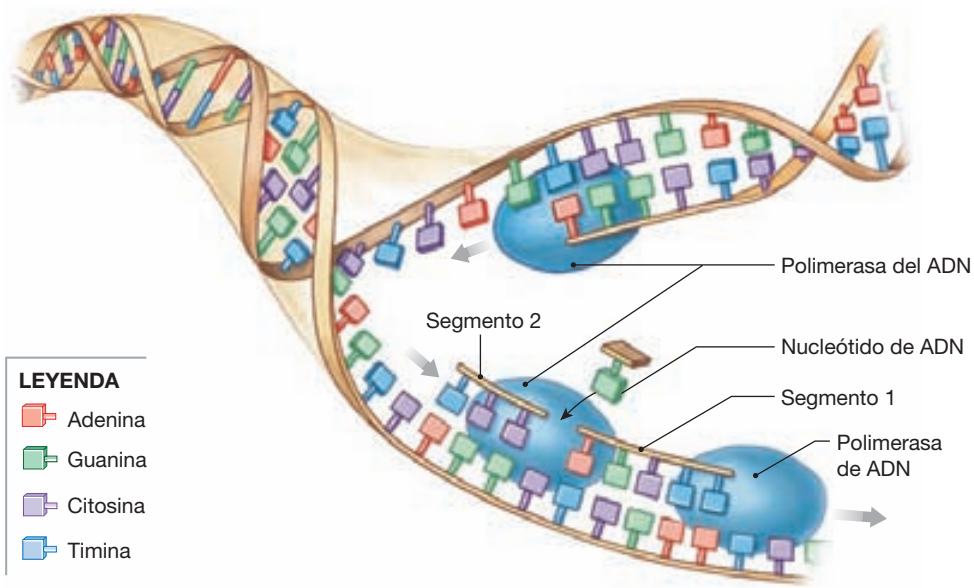


Figura 2.21 Replicación del ADN
En la replicación del ADN, el par de hebras primitivas se desenrollan, y la polimerasa del ADN comienza a fijar los nucleótidos complementarios de ADN a lo largo de cada una. Este proceso produce dos copias idénticas de la molécula inicial del ADN.

En las diversas porciones de cada hebra de ADN actúan a la vez muchas moléculas de la polimerasa de ADN. Este mecanismo produce cadenas cortas de nucleótidos complementarios, que a continuación se enlazan por acción de unas enzimas llamadas **ligasas** *(liga,* atar). El resultado final es un par de moléculas de ADN idénticas.

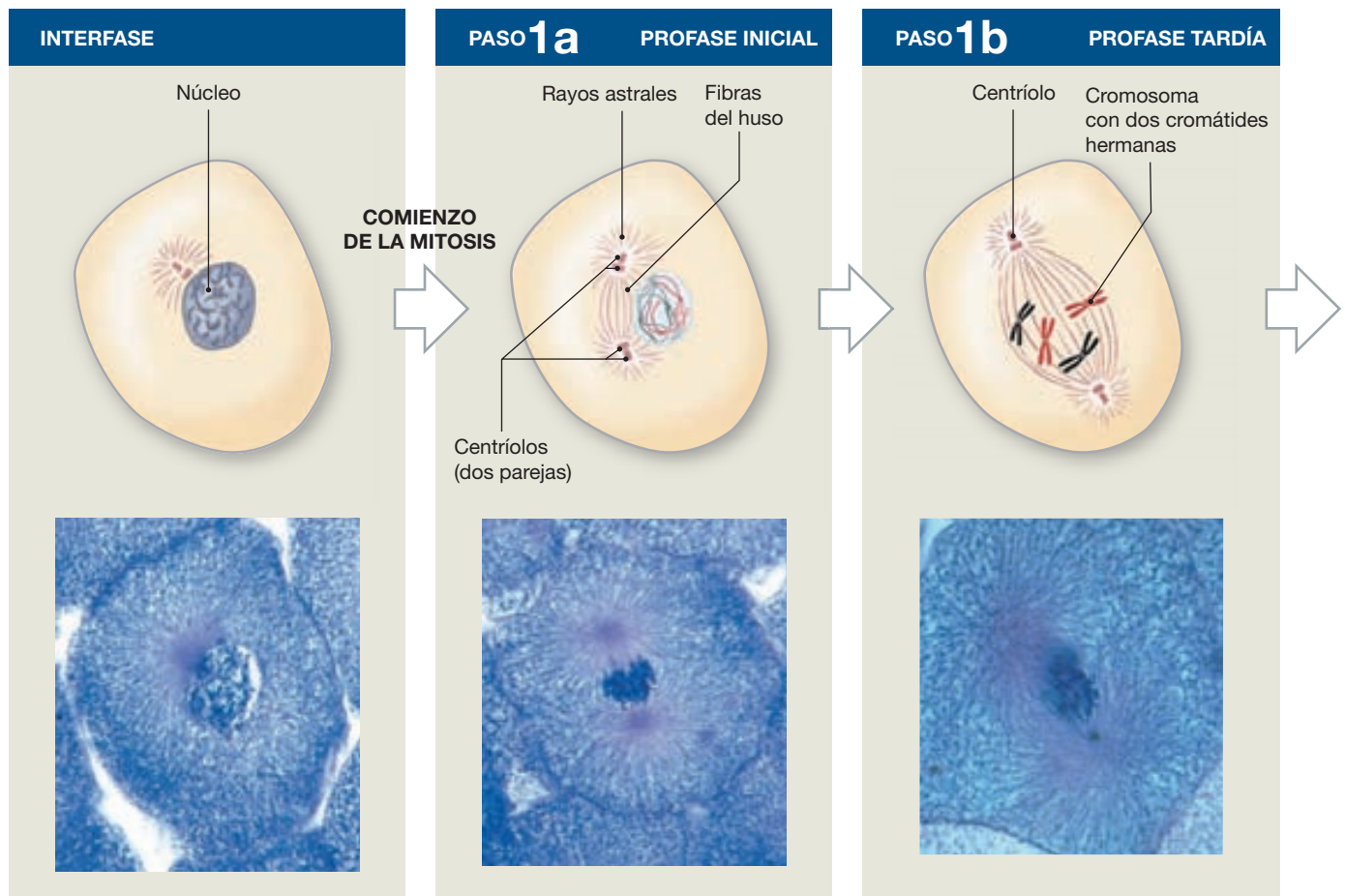
Una vez que ha concluido la replicación del ADN, sigue una breve **fase G_2** (2-5 horas) dedicada a la síntesis proteínica de última hora. Después, la célula entra en la **fase M** y comienza la mitosis (v. figuras 2.20 y 2.22).

Mitosis [v. figura 2.22]

El proceso de mitosis consta de cuatro fases, sin solución de continuidad en la transición de una a otra. En la figura 2.22 se detalla su contenido.

PASO 1. ***Profase.*** (*Pro,* antes; v. figura 2.22) La profase comienza cuando los cromosomas se enrollan tanto que quedan visibles formando unas estructuras independientes. Como consecuencia de la replicación del ADN durante la fase S, existen dos copias de cada cromosoma, llamadas **cromátides,** conectadas por un solo punto, el **centrómero.** Los centríolos se duplicaron en la fase G_1; los dos pares se distancian entre sí durante la profase. Las **fibras del huso** saltan entre las parejas de centríolos; los microtúbulos más pequeños, denominados *rayos astrales,* irradian hacia el citoplasma a su alrededor. La profase acaba con la desaparición de la membrana nuclear. Las fibras del huso pasan a tenderse entre los cromosomas, y el cinetocoro de cada cromátide queda ligado a una fibra del huso llamada *microtúbulo cromosómico.*

Figura 2.22 Interfase y mitosis
Aspecto de una célula en interfase y en las diversas etapas de la mitosis (MO × 775).



Nota clínica

División celular y cáncer En el tejido normal, la velocidad de la división celular compensa la desaparición o la destrucción de las células. Cuando este equilibrio se rompe, el tejido empieza a crecer. Un **tumor,** o **neoplasia,** es una masa o tumefacción producida por un crecimiento y una división anormal de las células. En un **tumor benigno,** las células permanecen contenidas por una cápsula de tejido conjuntivo. Este proceso casi nunca amenaza la vida de una persona. Por regla general, puede extirparse mediante una operación quirúrgica si su tamaño o su posición alteran el funcionamiento de los tejidos contiguos.

Las células de un **tumor maligno** dejan de responder a los mecanismos normales de control. Se dividen con rapidez, hasta extenderse por los tejidos que las rodean y también pueden propagarse hacia otros tejidos y órganos. Esta diseminación se denomina **metástasis.** Su aparición es peligrosa y difícil de atajar. Tras llegar a un lugar nuevo, las células metastásicas generan tumores secundarios.

El término **cáncer** designa una enfermedad caracterizada por la presencia de células malignas. Las células cancerosas pierden poco a poco su parecido con las normales. Cambian de tamaño y de forma, y muchas veces se vuelven desmesuradamente grandes o anormalmente pequeñas. El funcionamiento del órgano comienza a deteriorarse a medida que su número aumenta. Las células cancerosas a veces no cumplen ninguna de sus funciones originales, o pueden llevarlas a cabo de una manera atípica. También compiten con las células normales por el espacio y por los nutrientes. Al no sacar un gran rendimiento de la energía, crecen y se multiplican a expensas de los tejidos normales. Esta actividad explica el aspecto demacrado de muchos pacientes en las últimas fases de la enfermedad.

PASO 2. ***Metafase.*** (*Meta,* después; **v. figura 2.22**). Las fibras del huso ahora se deslizan entre los cromosomas y el cinetocoro de cada cromátide se fija a una de ellas, denominada *microtúbulo cromosómico.* A continuación, los cromosomas compuestos por pares de cromátides se desplazan hacia una zona estrecha central llamada **placa de la metafase.** Un microtúbulo del huso se une a cada centrómero.

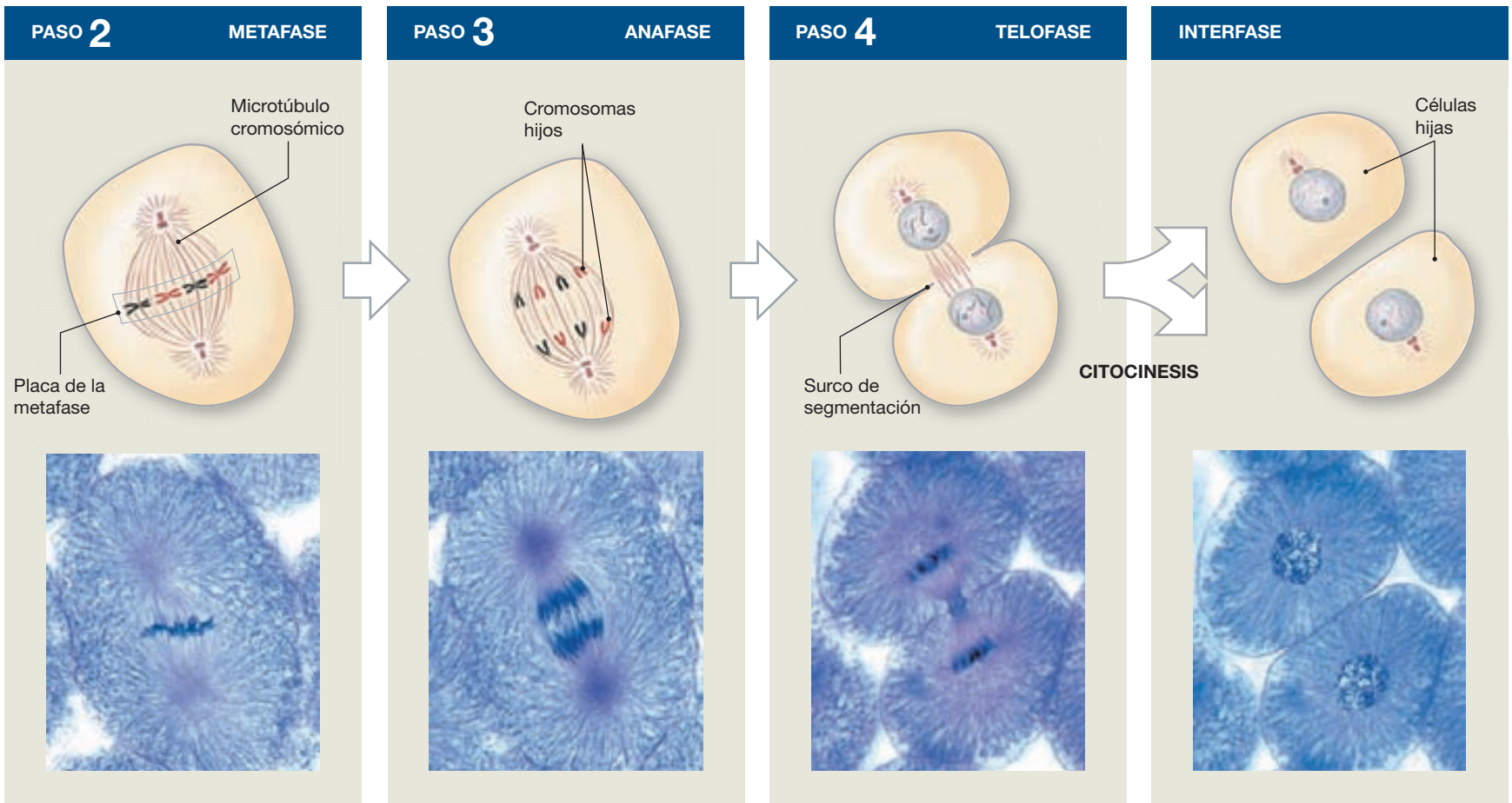
PASO 3. ***Anafase.*** (*Ana,* atrás; **v. figura 2.22**). Como si respondieran a una sola orden, las parejas de cromátides se separan y los **cromosomas hijos** se retiran hacia los extremos opuestos de la célula. La anafase acaba cuando llegan cerca de los centríolos en las dos zonas contrarias de la célula en división.

PASO 4. ***Telofase.*** (*Telo,* fin; **v. figura 2.22**). Esta etapa es en muchos sentidos la inversa a la profase, pues en ella la célula se prepara para regresar al estado de interfase. Se forman las membranas nucleares y los núcleos crecen a medida que los cromosomas se desenrollan poco a poco. Una vez que desaparecen, resurgen los nucléolos, y los núcleos recuerdan a los de las células en interfase.

La telofase marca el final de la mitosis propiamente dicha, pero las células hijas aún tienen que consumar su separación física. Este proceso, llamado **citocinesis** (*cito-,* célula + *kinesis,* movimiento) suele comenzar al final de la anafase. Cuando los cromosomas hijos se acercan a los extremos del huso, el citoplasma se estrecha a lo largo del plano formado por la placa de la metafase, y produce un *surco de segmentación.* Este mecanismo continúa durante la telofase, y la terminación de la citocinesis (**v. figura 2.22**) señala el final de la división celular y el comienzo del siguiente período de interfase.

La frecuencia de la división celular puede calcularse según el número de células que hay en mitosis en un momento dado. Por consiguiente, muchas veces se utiliza el término **índice mitótico** para estudiar la velocidad de este fenómeno. En general, cuanto más larga sea la esperanza de vida de un tipo

Figura 2.22 ***(cont.)***



celular, más bajo es su índice mitótico. Las células de vida relativamente larga, como los miocitos y las neuronas, no se dividen nunca o sólo lo hacen en circunstancias especiales. Otras células, como las que revisten el tubo digestivo, no sobreviven más que unos días o incluso horas, por encontrarse permanentemente sometidas a la agresión de los productos químicos, los patógenos y la abrasión. Unas células especiales, denominadas **células progenitoras,** mantienen estas poblaciones celulares a lo largo de los ciclos repetidos de división.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué es la división celular?
2. Antes de la división celular, debe producirse una mitosis. ¿En qué consiste?
3. Enumere, por orden de aparición, las etapas de la interfase y la mitosis, y los fenómenos que ocurren en cada una de ellas.

Véase «Respuestas» al final del libro.

TÉRMINOS CLÍNICOS

cáncer: Enfermedad caracterizada por las células malignas.

carcinógeno: Factor ambiental que estimula la transformación de una célula normal en otra cancerosa.

genes supresores tumorales (GST) o antioncogenes: Genes que inhiben la mitosis y el crecimiento en las células normales.

metástasis: Diseminación de las células malignas hacia los tejidos o los órganos que las rodean y a distancia.

mutágeno: Factor capaz de alterar las hebras de ADN y que a veces provoca roturas cromosómicas, lo que estimula la formación de células cancerosas.

oncogén: Gen causante del cáncer, originado por una mutación somática en un gen normal (protooncogén) que está encargado del crecimiento, la diferenciación o la división celular.

predisposición hereditaria: Situación de una persona nacida con unos genes que aumentan la probabilidad de padecer una enfermedad específica.

tumor benigno: Masa o tumefacción cuyas células permanecen contenidas por una cápsula de tejido conjuntivo; casi nunca amenaza la vida.

tumor maligno: Masa o tumefacción cuyas células dejan de responder a los mecanismos normales de control, y se dividen con rapidez.

tumor (neoplasia): Masa o tumefacción producida por el crecimiento o la división anormal de las células.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 27

1. Toda la materia viva está compuesta por **células** y la teoría celular actual incluye varios conceptos básicos: 1) las células son los ladrillos presentes en todas las plantas y los animales; 2) las células se generan mediante la división de otras células preexistentes, y 3) las células son la unidad más pequeña que realiza todas las funciones vitales.
2. El organismo contiene dos tipos de células: **células sexuales** (células germinales o células reproductoras) y **células somáticas** (células del cuerpo).

Estudio de las células 27

1. La *citología* es el estudio de la estructura y la función de las células por separado.

Microscopia óptica 27

2. La microscopia óptica utiliza la luz para permitir el aumento y la observación de las estructuras celulares hasta 1.000 veces su tamaño natural *(v. figura 2.1)*.

Microscopia electrónica 28

3. La microscopia electrónica emplea un haz concentrado de electrones para aumentar la ultraestructura celular hasta 1.000 veces más que la microscopia óptica *(v. figura 2.1b,c)*.

Anatomía celular 29

1. Una célula está rodeada por una capa delgada de **líquido extracelular.** El límite exterior de la célula es la **membrana plasmática** o **membrana celular.** Se trata de una **bicapa fosfolipídica** que contiene proteínas y colesterol. La *tabla 2.1* resume la anatomía de una célula típica *(v. figuras 2.3/2.4)*.

Membrana plasmática 31

2. Las **proteínas integrales** se encuentran enterradas en la bicapa fosfolipídica de la membrana, mientras que las **proteínas periféricas** están ligadas a ella pero pueden separarse. Los **canales** dejan que el agua y los iones crucen la membrana; algunos reciben el nombre de **compuertas** porque pueden abrirse o cerrarse *(v. figuras 2.5/2.6)*.
3. Las membranas plasmáticas tienen una **permeabilidad selectiva;** es decir, permiten el paso libre de algunos materiales.
4. La **difusión** es el movimiento neto de material desde una zona de concentración alta hacia otra donde sea baja. Este proceso tiene lugar hasta la eliminación del **gradiente de concentración** *(v. figura 2.6 y tabla 2.2)*.
5. La difusión de agua a través de una membrana como respuesta a las diferencias en su concentración recibe el nombre de **ósmosis** *(v. tabla 2.2)*.
6. La **difusión facilitada** es un proceso de transporte pasivo que requiere la presencia de **proteínas transportadoras** *(v. tabla 2.2)*.
7. Todos los **procesos activos de la membrana** necesitan energía bajo la forma de *trifosfato de adenosina* o ATP. Son importantes dos de ellos: el transporte activo y la endocitosis *(v. tabla 2.2)*.
8. Los mecanismos de **transporte activo** consumen ATP y son independientes de los gradientes de concentración. Algunas **bombas iónicas** son **bombas de intercambio** *(v. tabla 2.2)*.
9. La **endocitosis** es el movimiento hacia el interior de una célula y se trata de un proceso activo que adopta una de las tres formas siguientes: **pinocitosis** (bebida celular), **fagocitosis** (comida celular) o **endocitosis mediada por receptores** (movimiento selectivo). En la *tabla 2.2* se ofrece un resumen de los mecanismos que intervienen en el paso de las sustancias a través de las membranas plasmáticas *(v. figuras 2.7/2.8)*.
10. Las **microvellosidades** son pequeñas extensiones digitiformes de la membrana plasmática que aumentan la superficie expuesta al medio extracelular *(v. figura 2.9 y tabla 2.1)*.

Citoplasma 35

11. El **citoplasma** contiene **citosol,** un líquido intracelular que rodea a las estructuras encargadas de cumplir funciones específicas, llamadas **orgánulos** *(v. figura 2.3 y tabla 2.1)*.

Orgánulos sin membrana 36

12. Los **orgánulos sin membrana** no están encerrados por una membrana y se encuentran en contacto permanente con el citosol. Abarcan el citoesqueleto, los centríolos, los cilios, los flagelos y los ribosomas *(v. figuras 2.9 a 2.11 y tabla 2.1)*.
13. El **citoesqueleto** es un armazón de proteínas interno que concede resistencia y flexibilidad al citoplasma. Tiene cuatro componentes: **microfilamentos, filamentos intermedios, filamentos gruesos** y **microtúbulos** *(v. figura 2.9 y tabla 2.1)*.
14. Los **centríolos** son pequeños cilindros que contienen microtúbulos y dirigen el movimiento de los cromosomas durante la división celular *(v. figura 2.10 y tabla 2.1)*.

15. Los **cilios,** sujetos por un **cuerpo basal,** son extensiones de la superficie celular, parecidas a pelos, que contienen microtúbulos y baten rítmicamente para llevar los líquidos o las secreciones de un lado a otro de la superficie celular *(v. figura 2.10 y tabla 2.1)*.
16. Un **flagelo** se parece a un látigo y desplaza a la célula a través del líquido que la rodea, en lugar de mover el líquido alrededor de una célula quieta. La *tabla 2.3* presenta una comparación entre los centríolos, los cilios y los flagelos.
17. Los **ribosomas** son factorías intracelulares constituidas por subunidades pequeñas y grandes; una vez unidas, fabrican proteínas. En las células hay dos clases de ribosomas: **libres** (dentro del citosol) y **fijos** (ligados al *retículo endoplásmico*) *(v. figura 2.11 y tabla 2.1)*.

Orgánulos con membrana 38

18. Los **orgánulos con membrana** están rodeados por membranas lipídicas que los aíslan del citosol. Hay los siguientes tipos: mitocondrias, núcleo, retículo endoplásmico (rugoso y liso), aparato de Golgi, lisosomas y peroxisomas.
19. Las **mitocondrias** son las responsables de producir el 95% del ATP en una célula típica *(v. figura 2.12 y tabla 2.1)*.
20. El **núcleo** es el centro de control de las operaciones celulares. Está rodeado por una **membrana nuclear,** por la que se comunica con el citosol a través de los **poros nucleares.** El núcleo contiene 23 pares de **cromosomas** *(v. figuras 2.13/2.14 y tabla 2.1)*.
21. El **retículo endoplásmico (RE)** es una red de membranas intracelulares que participa en la síntesis, almacenamiento, transporte y desintoxicación. Forma tubos huecos, láminas aplanadas y cavidades redondeadas denominadas **cisternas.** Hay dos tipos de RE: rugoso y liso. El **retículo endoplásmico rugoso (RER)** tiene unos ribosomas fijados; el **retículo endoplásmico liso (REL)** no *(v. figura 2.15 y tabla 2.1)*.
22. El **aparato de Golgi** se encarga de envolver sustancias para los **lisosomas, peroxisomas** y **vesículas secretoras,** y segmentos de membrana que se suman a la membrana plasmática. Los productos de secreción salen de la célula a través del proceso de la **exocitosis** *(v. figuras 2.16/2.17 y tabla 2.1)*.
23. Los **lisosomas** son vesículas llenas de enzimas digestivas. El proceso de endocitosis es importante para limpiar la célula de bacterias y residuos. La vesícula endocitósica se fusiona con un lisosoma, lo que deriva en la digestión de su contenido *(v. figura 2.18 y tabla 2.1)*.
24. Los **peroxisomas** llevan enzimas utilizadas para degradar moléculas orgánicas y neutralizar sustancias tóxicas.

Flujo de membrana 43

25. Existe un movimiento constante de la membrana entre la membrana nuclear, el aparato de Golgi, el retículo endoplásmico, las vesículas y la membrana plasmática, que se denomina **flujo de membrana.**

Unión intercelular 43

1. Muchas células se unen a otras células o a fibras proteicas extracelulares por tres tipos diferentes de uniones celulares: uniones intercelulares herméticas, uniones intercelulares comunicantes y uniones intercelulares de anclaje.
2. Las células de algunas zonas del cuerpo están ligadas por una combinación de uniones celulares *(v. figura 2.19)*.
3. En una **unión intercelular hermética,** las porciones lipídicas de las dos membranas plasmáticas se encuentran ligadas hasta cerrar el espacio intercelular existente entre las células *(v. figura 2.19b)*.
4. En una **unión intercelular comunicante,** las células se mantienen unidas por unas proteínas de membrana entrelazadas. Se trata de canales proteínicos, que forman un estrecho pasillo *(v. figura 2.19c)*.
5. Una **unión intercelular de anclaje** proporciona una conexión mecánica entre las caras laterales o basales de dos células adyacentes *(v. figura 2.19d)*.
6. Un *hemidesmosoma* fija una célula a los filamentos y fibras extracelulares *(v. figura 2.19e)*.

Ciclo vital de la célula 45

1. La **división celular** es la reproducción de las células. Las células reproductivas originan gametos (espermatozoides u ovocitos) por el proceso de meiosis *(v. figuras 2.20/2.22)*. En una célula en división, un período de crecimiento o interfase alterna con una etapa de división nuclear, denominada **mitosis** *(v. figura 2.20)*.

Interfase 45

2. La mayoría de las células somáticas pasan gran parte de su tiempo en **interfase,** un período de crecimiento (v. figura 2.20).

Mitosis 46

3. La **mitosis** designa la división nuclear de las células somáticas.
4. La mitosis transcurre en cuatro etapas sucesivas distintas: **profase, metafase, anafase** y **telofase** *(v. figura 2.22)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A

___1. ribosomas
___2. lisosomas
___3. proteínas integrales
___4. aparato de Golgi
___5. endocitosis
___6. citoesqueleto
___7. unión intercelular hermética
___8. núcleo
___9. fase S

Columna B

a. replicación del ADN
b. discos membranosos aplanados, empaquetamiento
c. membranas plasmáticas adyacentes ligadas por bandas de proteínas entrelazadas
d. empaquetamiento de sustancias para su transporte al interior de la célula
e. ARN y proteína; síntesis de proteínas
f. centro de control; conservación de la información genética
g. vesículas celulares con enzimas digestivas
h. enterrado en la membrana plasmática
i. armazón interno de proteínas en el citoplasma

10. Los mecanismos siguientes de transporte de membrana son todos procesos pasivos excepto:
    (a) la difusión facilitada
    (b) el transporte vesicular
    (c) la filtración
    (d) la difusión

11. La envoltura superficial viscosa situada en la cara externa de la membrana plasmática es:
    (a) la bicapa fosfolipídica
    (b) la red de canales de compuerta
    (c) el glucocáliz
    (d) la membrana plasmática

12. La interfase se divide en las siguientes etapas dentro del ciclo vital de la célula:
    (a) profase, metafase, anafase y telofase
    (b) G_0, G_1, S y G_2
    (c) mitosis y citocinesis
    (d) replicación, reposo y división

13. ¿Qué orgánulo es el que predomina en las células que participan en numerosos fenómenos de fagocitosis?
    (a) ribosomas libres
    (b) lisosomas
    (c) peroxisomas
    (d) microtúbulos

14. En comparación con el líquido intracelular, el líquido extracelular contiene:
    (a) una cantidad equivalente de iones de sodio
    (b) una concentración invariablemente superior de iones de potasio
    (c) muchas más enzimas
    (d) una concentración menor de proteínas disueltas

15. El flujo de membrana aporta un mecanismo para:
    (a) la modificación constante de las características que poseen las membranas
    (b) el aumento en el tamaño de la célula
    (c) la respuesta de la célula a un estímulo específico del medio
    (d) todas las anteriores

16. Si una célula carece de mitocondrias, la consecuencia directa será que no puede:
    (a) fabricar proteínas
    (b) producir una cantidad apreciable de ATP
    (c) envolver las proteínas fabricadas por los ribosomas fijos
    (d) reproducirse

17. Algunas proteínas integrales de la membrana forman canales de compuerta que se abren o se cierran para:
    (a) regular la entrada a la célula o la salida de sustancias
    (b) permitir la entrada a la célula o la salida del agua
    (c) transportar proteínas grandes dentro la célula
    (d) comunicarse con las células vecinas

18. Las tres funciones principales del retículo endoplásmico son:
    (a) hidrólisis, difusión, ósmosis
    (b) desintoxicación, empaquetamiento, modificación
    (c) síntesis, almacenamiento, transporte
    (d) pinocitosis, fagocitosis, almacenamiento

19. La función de una membrana plasmática dotada de permeabilidad selectiva es:
    (a) permitir la entrada o la salida libre de la célula únicamente a las sustancias hidrosolubles
    (b) impedir el acceso a la célula de todos los materiales en determinados momentos
    (c) dejar el paso libre de algunas sustancias pero restringir el de otras
    (d) permitir que los materiales entren o salgan de la célula sólo mediante procesos activos

20. La presencia de patógenos invasores en el líquido extracelular estimularía a las células inmunitarias para poner en marcha el mecanismo de:
    (a) pinocitosis
    (b) fagocitosis
    (c) pinocitosis mediada por receptores
    (d) transporte en masa

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Qué ventaja aporta a la célula que su núcleo esté encerrado dentro de una membrana?

2. Indique los tres conceptos básicos que constituyen la teoría celular moderna.

3. ¿Por qué cuatro procesos pasivos entran y salen las sustancias de las células?

4. Explique las semejanzas y diferencias entre la difusión facilitada y el transporte activo.

5. ¿Qué tres factores principales determinan si una sustancia puede pasar por difusión a través de una membrana plasmática?

6. ¿Qué son los orgánulos? Identifique las dos categorías generales en las que pueden dividirse y describa la diferencia fundamental entre dichos grupos.

7. ¿Cuál es la relación entre el índice mitótico y la frecuencia de la división celular?

8. Enumere las etapas de la mitosis por orden y describa brevemente los fenómenos que acontecen en cada una.

9. ¿Cuáles son las cuatro funciones generales de la membrana plasmática?

10. Comente las dos funciones básicas de los microfilamentos.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿Por qué la piel de las manos se hincha y arruga si las deja mucho tiempo sumergidas en agua dulce?

2. Cuando la piel sufre una quemadura solar «se pela», es decir, grandes regiones de células epidérmicas se desprenden, muchas veces al mismo tiempo. ¿Por qué la descamación sucede así?

3. ¿Cuál es la ventaja de tener orgánulos encerrados por una membrana semejante a la celular?

4. Los datos experimentales ponen de manifiesto que el transporte de determinada molécula muestra las siguientes características: 1) la molécula va en contra de su gradiente de concentración, y 2) su desplazamiento consume energía de la célula. ¿Qué tipo de proceso de transporte entra en juego?

3

Tejidos y primeras etapas del desarrollo

Introducción 52

Tejido epitelial 52

Tejidos conjuntivos 61

Membranas 72

El soporte de tejido conjuntivo del cuerpo 74

Tejido muscular 75

Tejido nervioso 75

Tejidos, nutrición y envejecimiento 77

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Examinar las relaciones estructurales y funcionales que guardan las células y los tejidos y clasificar los tejidos del cuerpo en cuatro categorías principales.
2. Señalar la relación entre la estructura y la función de cada tipo epitelial.
3. Definir la glándula y el epitelio glandular.
4. Caracterizar los modos y los tipos de secreción glandular; comparar y contraponer las estructuras glandulares.
5. Comparar y contraponer las características estructurales y funcionales de los elementos que forman el tejido conjuntivo.
6. Indicar los rasgos generales y la ubicación de los distintos tipos de tejido conjuntivo.
7. Comparar los tejidos conjuntivos embrionario y adulto.
8. Explicar cómo se combinan los epitelios y los tejidos conjuntivos en la formación de membranas y detallar las funciones que cumple cada clase de membrana.
9. Describir cómo los tejidos conjuntivos constituyen la estructura del cuerpo.
10. Comparar y contraponer los tres tipos de tejido muscular en cuanto a su estructura, su función y su localización.
11. Exponer la estructura y la función básica del tejido nervioso.
12. Distinguir entre las neuronas y la neuroglia; exponer las funciones de cada una.
13. Enunciar la influencia de la nutrición y el envejecimiento sobre los tejidos.

Una gran empresa guarda un gran parecido con un organismo vivo, aunque dependa de sus empleados, en vez de las células, para garantizar su supervivencia. Pueden ser necesarios miles de trabajadores para que todo marche bien y sus responsabilidades varían, dado que ninguno es capaz de hacerlo todo. Por esta razón, las compañías suelen tener departamentos con funciones amplias, como la comercialización, la producción o el mantenimiento. Las funciones cumplidas por el cuerpo son mucho más variadas que las de una empresa y no hay ninguna célula que contenga la maquinaria metabólica y los orgánulos necesarios para la ejecución de todas ellas. En cambio, mediante el proceso de diferenciación, cada una adquiere un conjunto de rasgos estructurales característico y un número reducido de funciones. Estas estructuras y funciones pueden diferir bastante de las correspondientes a las células de al lado. No obstante, las células situadas en un lugar determinado actúan todas juntas. Un examen detallado del cuerpo deja ver una serie de patrones a nivel celular. Aunque contenga miles de millones de células, no hay más que unos 200 tipos distintos. Estas clases se combinan para formar los **tejidos,** que son una colección de células especializadas y productos celulares que desarrollan una cantidad relativamente escasa de funciones. La *histología* es el estudio de la estructura profunda de las células, los tejidos y los órganos en relación con su función. Existen cuatro **tipos básicos de tejidos:** *tejido epitelial, tejido conjuntivo, tejido muscular* y *tejido nervioso.* Sus funciones básicas se presentan en la **figura 3.1**.

Este capítulo analizará las características de cada tipo fundamental de tejido, fijándose en la relación entre la organización celular y la función tisular. Tal como se señaló en el capítulo 2, la histología es el estudio de los grupos de células especializadas y productos celulares que actúan en conjunto para cumplir una función específica. Este capítulo ofrece los conceptos histológicos básicos que hacen falta para entender los patrones de interacción tisular dentro de los órganos y sistemas estudiados en los capítulos posteriores.

Desde un primer momento, es importante percatarse de que las muestras de tejido suelen someterse a una manipulación considerable antes de su examen al microscopio. Por ejemplo, las microfotografías que aparecen en este capítulo proceden de piezas de tejido después de extraerlas, conservarlas en una solución fijadora y sumergirlas en un medio que permita su corte fino. El plano de corte viene determinado por la orientación del tejido incluido con respecto a la hoja de la cuchilla. Si se modifica su posición, puede obtenerse una información útil acerca de la anatomía tridimensional de una estructura (**v. figura 1.11, [p. 17]**). Sin embargo, el aspecto de un tejido en las preparaciones histológicas cambiará notablemente según el plano seguido al seccionarlo, tal como queda señalado en la **figura 1.12**, **[p. 18]**. Incluso si se utiliza un solo plano de corte, la organización interna observada de una célula o de un tejido variará según cambie el nivel estudiado. Al analizar las microfotografías dispuestas a lo largo del texto, hay que tener presentes estas limitaciones.

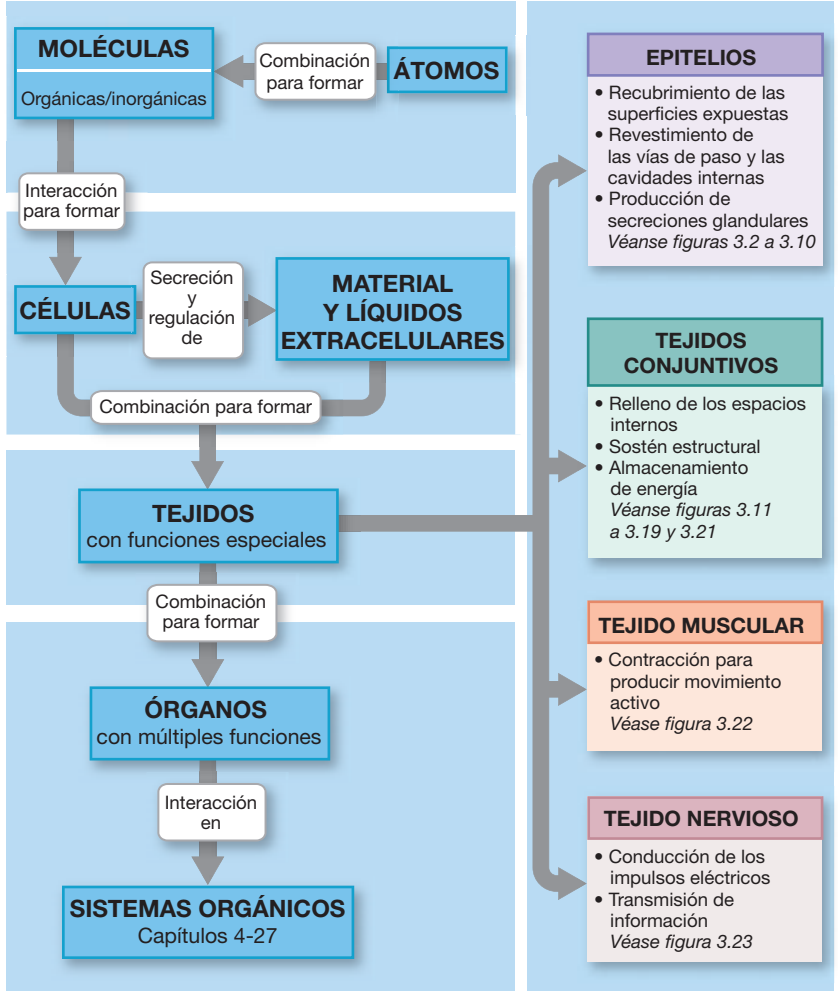


Figura 3.1 Orientación acerca de los tejidos corporales
Visión general sobre los niveles de organización en el cuerpo e introducción a algunas de las funciones que cumplen los cuatro tipos de tejidos.

Tejido epitelial

El tejido epitelial incluye los epitelios y las glándulas; estas últimas son estructuras secretoras derivadas de los epitelios. Un **epitelio** es una lámina de células que recubre una superficie expuesta al exterior o que tapiza una cavidad interna o una vía de paso. En cada caso, forma una barrera dotada de unas propiedades específicas. Los epitelios revisten todas las superficies corporales al descubierto. La superficie de la piel es un buen ejemplo, pero los epitelios también revisten el tubo digestivo y las vías respiratorias, genitales y urinarias, conductos que comunican con el medio exterior. Asimismo, revisten cavidades internas y zonas de conducción, como la cavidad torácica, las cámaras del encéfalo llenas de líquido, los ojos y el oído interno, y la cara interna de los vasos sanguíneos y el corazón.

Entre las características más importantes de los epitelios, figuran las siguientes:

1. *Celularidad:* los epitelios están compuestos casi en su integridad por células unidas entre sí por uniones intercelulares muy fuertes. En los tejidos epiteliales, el espacio intercelular que queda entre las células es escaso o nulo (en la mayoría de los demás casos, existe líquido extracelular o unas fibras que separan las células).
2. *Polaridad:* un epitelio siempre tiene una *superficie apical* expuesta, que mira hacia el exterior del cuerpo o hacia algún espacio interno. También presenta una *superficie basal* fija, por la que se encuentra sujeto a los tejidos adyacentes. La estructura de la membrana plasmática y su función cambian en estas superficies. Los orgánulos y otros componentes del citoplasma tampoco se distribuyen de modo uniforme entre la superficie expuesta y la fija, ni en los epitelios formados por una sola capa de células ni en los que tienen múltiples capas. Esta distribución irregular se denomina **polaridad.**
3. *Fijación:* la cara basal de cualquier epitelio típico está unida a una **lámina basal** delgada, que es una estructura compleja producida por el propio epitelio y por las células del tejido conjuntivo subyacente.
4. *Avascularidad:* los epitelios no contienen vasos sanguíneos. Debido a este estado **avascular** (*a-*, sin + *vas,* vaso), sus células deben obtener los nutrientes por difusión o por absorción a través de las superficies apical o basal.
5. *Disposición en láminas o capas:* todo tejido epitelial está integrado por una sábana de células con un espesor de una o varias capas.
6. *Regeneración:* se produce un reemplazo constante de las células epiteliales alteradas o desaparecidas de la superficie, mediante la división de las células progenitoras presentes en el epitelio.

Funciones del tejido epitelial

Los epitelios cumplen varias funciones básicas:

1. *Protección física:* los epitelios protegen las superficies expuestas al exterior y las del interior del organismo contra la abrasión, la deshidratación y la destrucción por los agentes químicos o biológicos.
2. *Control de la permeabilidad:* cualquier sustancia que entra o sale del cuerpo tiene que atravesar un epitelio. Algunos son relativamente impermeables, mientras que otros son permeables a compuestos con el tamaño máximo de las proteínas. Muchos contienen la «maquinaria» molecular necesaria para llevar a cabo una absorción o una secreción selectiva. La barrera epitelial puede regularse y modificarse como respuesta a diversos estímulos. Por ejemplo, las hormonas tienen la capacidad de influir sobre el transporte de iones y nutrientes a través de las células epiteliales. Hasta una sobrecarga física es capaz de modificar la estructura y las propiedades de los epitelios; piense, por ejemplo, en los callos que se forman en las manos después de realizar un trabajo duro durante un tiempo.
3. *Sensibilidad:* la mayoría de los epitelios reciben una inervación abundante por parte de nervios sensitivos. Hay células epiteliales especializadas, capaces de detectar cambios en el medio y transmitir esta información hacia el sistema nervioso. Por ejemplo, los receptores del tacto situados en las capas epiteliales más profundas de la piel responden a la presión mediante la estimulación de los nervios sensitivos adyacentes. Un **neuroepitelio** es un epitelio sensitivo especializado. Corresponde a los órganos de los sentidos y aporta las sensaciones del olfato, el gusto, la vista, el equilibrio y el oído.
4. *Producción de secreciones especializadas:* las células epiteliales que producen secreciones reciben el nombre de **células glandulares.** En los epitelios, suelen encontrarse dispersas entre otros tipos celulares. En un **epitelio glandular,** la mayor parte de las células epiteliales generan secreciones, si no todas.

Especializaciones de las células epiteliales

[v. figura 3.2]

Las células epiteliales presentan varias especializaciones que las distinguen de otras células del organismo. Muchas de ellas están especializadas en: 1) la producción de secreciones; 2) el movimiento de líquidos sobre la superficie epitelial, o 3) el paso de líquidos a través del propio epitelio. Estas células epiteliales especializadas suelen manifestar una clara polaridad según el eje que une la *cara apical,* la que se encuentra expuesta a un medio interno o externo, con la *cara basolateral,* donde el epitelio entra en contacto con la lámina basal y con las células epiteliales vecinas. Esta polaridad quiere decir que: 1) los orgánulos intracelulares siguen una distribución irregular, y 2) las membranas plasmáticas apical y basolateral son diferentes en función de las proteínas y las funciones que les corresponden. La propia organización de los orgánulos varía de acuerdo con las funciones que desempeña cada célula.

La mayor parte de las células epiteliales presentan microvellosidades a lo largo de su cara apical al descubierto; pueden no tener más que unas pocas o tapizarlas en toda su integridad. Esta presencia es especialmente abundante sobre las superficies epiteliales que ejecutan procesos de absorción y de secreción, como sucede en el caso de ciertas porciones del tubo digestivo y de las vías urinarias [p. 35]. Las células epiteliales de estos tramos están especializadas en el transporte, y la existencia de microvellosidades multiplica su superficie por 20, como mínimo. Este aumento aporta una capacidad mucho mayor para cumplir dichos cometidos a través de la membrana plasmática. En la figura 3.2 aparecen representadas estas microvellosidades. Los **estereocilios** son microvellosidades muy largas (miden hasta 250 μm) y carecen de movimiento. Están situados a lo largo de ciertas zonas en las vías genitales masculinas y en las células receptoras del oído interno.

La figura 3.2b muestra la cara apical de un **epitelio ciliado.** La célula ciliada típica contiene unos 250 cilios que baten de manera coordinada. Las

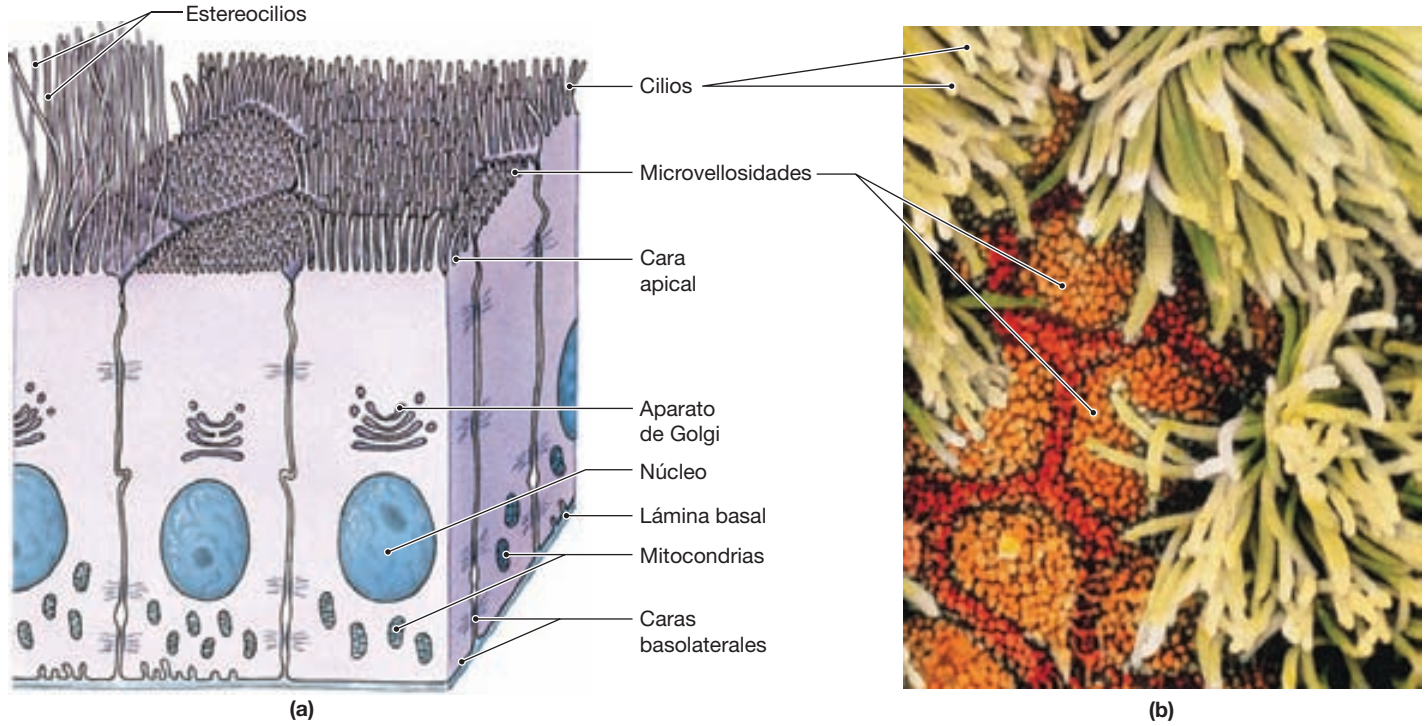


Figura 3.2 Polaridad de las células epiteliales

(a) La organización interna de muchas células epiteliales varía según un eje que une su cara apical con la lámina basal. La superficie apical suele llevar unas microvellosidades; con menor frecuencia, puede tener cilios o (muy infrecuente) estereocilios. Lo habitual es que una misma célula no tenga más que un tipo de prolongación; los estereocilios y las microvellosidades se ofrecen juntos para resaltar sus proporciones relativas. *(En condiciones normales, los tres no estarían en el mismo grupo de células, pero aquí se representan así por razones ilustrativas.)* Las uniones intercelulares herméticas evitan el movimiento de los patógenos o la difusión de sustancias disueltas entre las células. Los pliegues de la membrana plasmática próximos a su base aumentan la superficie expuesta a la lámina basal. Las mitocondrias se concentran específicamente en la región basolateral, tal vez para aportar la energía que necesitan las actividades de transporte efectuadas por la célula. **(b)** Una MEB muestra la superficie de los epitelios que revisten la mayor parte de las vías respiratorias. Las pequeñas áreas erizadas de pinchos corresponden a las microvellosidades presentes en la cara al descubierto de las células productoras de moco esparcidas entre las células epiteliales ciliadas (MEB × 15.846).

sustancias se desplazan sobre la superficie epitelial llevadas por su sacudida sincronizada, como una escalera mecánica en permanente movimiento. Por ejemplo, el epitelio ciliado que reviste las vías respiratorias arrastra el moco desde los pulmones hacia la garganta. Este moco atrapa las partículas y los patógenos y las aleja de las superficies más delicadas de la profundidad de los pulmones.

Mantenimiento de la integridad del epitelio

Tres factores actúan para conservar la integridad física de un epitelio: 1) las conexiones intercelulares; 2) la fijación a la lámina basal, y 3) el mantenimiento y la renovación epitelial.

Conexiones intercelulares [v. figura 3.3]

Las células de los epitelios suelen estar enlazadas entre sí por una serie de uniones intercelulares, tal como se detalla en la **figura 2.19**, p. 44. Muchas veces existe un amplio plegamiento formado por las membranas plasmáticas opuestas, que ensambla las células y aumenta la superficie correspondiente a las uniones intercelulares. Fíjese en el grado de entrelazamiento entre las membranas plasmáticas que se observa en la **figura 3.3 a,c**. Las abundantes conexiones presentes entre las células sirven para mantenerlas juntas y pueden impedir el acceso a aquellos productos químicos o patógenos que entren en contacto con sus superficies libres. La combinación entre uniones intercelulares, moléculas de adhesión celular (MAC), cemento intercelular y entrelazamiento físico concede al epitelio una gran resistencia y estabilidad (**v. figura 3.3b**).

Fijación a la lámina basal [v. figura 3.3b]

Las células epiteliales no sólo están conectadas entre sí, sino que también permanecen sujetas con firmeza al resto del cuerpo. La cara basal de un epitelio típico está fijada a la **lámina basal** (*lamina,* capa delgada), cuya porción superficial consta de una *capa transparente* (también llamada lámina lúcida; *lamina,* capa + *lucida,* transparente), región constituida por glucoproteínas y por una red de finos microfilamentos. Esta capa transparente de la lámina basal crea una barrera que restringe el paso de las proteínas y de otras moléculas de gran tamaño desde el tejido conjuntivo subyacente hasta el epitelio. En la mayoría de los tejidos epiteliales, la lámina basal posee un segundo estrato más profundo, denominado *capa densa* (lámina densa), segregado por las células del tejido conjuntivo al que recubre. Esta capa densa contiene haces de fibras proteicas gruesas que otorgan su solidez a la lámina basal. Las uniones entre las fibras proteicas de la capa transparente y la capa densa las mantienen ligadas entre sí.

Mantenimiento y renovación epitelial

Un epitelio debe repararse y renovarse constantemente por sí mismo. La velocidad de la división celular varía según el ritmo de desaparición de las células epiteliales en la superficie. La vida de las células epiteliales es difícil, pues pueden quedar expuestas a la acción de enzimas destructivas, sustancias químicas tóxicas, bacterias patógenas y la excoriación mecánica. Al tener que enfrentarse a unas condiciones hostiles, como las que se dan dentro del intestino delgado, una célula puede no sobrevivir más que un día o dos antes de su destrucción. La única forma de mantener la integridad del epitelio a lo largo del tiempo consiste en la división constante de las células progenitoras. Estas células, también llamadas **células germinativas,** suelen estar situadas cerca de la lámina basal.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique los cuatro tipos básicos de tejidos.
2. Enumere cuatro características de los epitelios.
3. ¿Cuáles son las dos especializaciones de las células epiteliales?

Véase «Respuestas» al final del libro.

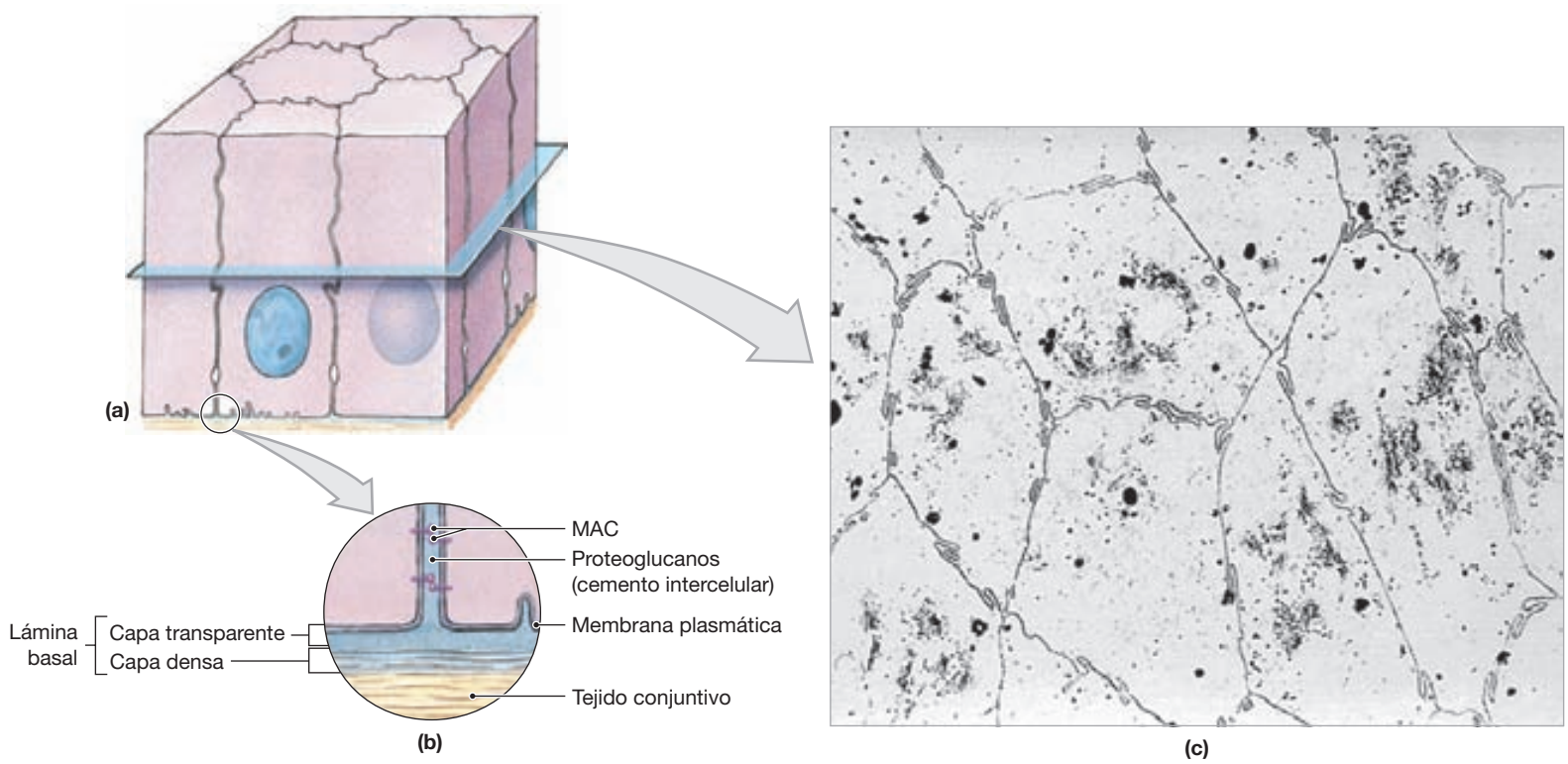


Figura 3.3 Epitelios y láminas basales
La integridad del epitelio depende de las conexiones entre las células epiteliales contiguas y de su fijación a la lámina basal subyacente. **(a)** Las células epiteliales suelen disponerse de manera apretada y están interconectadas por uniones intercelulares *(v. figura 2.19).* **(b)** Por su cara basal, los epitelios están fijos a una lámina basal que forma el límite entre las células epiteliales y el tejido conjuntivo subyacente. **(c)** Las membranas plasmáticas vecinas normalmente se encuentran entretejidas. La MET, con 2.600 aumentos, muestra el grado de entrelazamiento entre células epiteliales cilíndricas.

Clasificación de los epitelios

Los epitelios se clasifican según el número de capas celulares y la forma que tienen las células que componen la cara expuesta al exterior. Este esquema de división admite dos tipos distintos si atiende a sus capas (*simple* y *estratificado)* y tres por la forma de las células *(pavimentoso, cúbico* y *cilíndrico).*

Si la lámina basal no está cubierta más que por una sola capa de células, se trata de un **epitelio simple.** Los epitelios simples son relativamente delgados y como todas sus células presentan la misma polaridad, los núcleos forman una fila más o menos a la misma distancia de la lámina basal. Al ser tan finos, también son relativamente frágiles. Una única capa celular no puede ofrecer una gran protección mecánica y los epitelios simples sólo están presentes en zonas resguardadas repartidas por el interior del cuerpo. Tapizan los compartimentos internos y las vías de paso, entre ellas las cavidades corporales ventrales, las del corazón y todos los vasos sanguíneos.

Los epitelios simples también son característicos de aquellas regiones donde suceden fenómenos de secreción, absorción o filtración, como el revestimiento de los intestinos y las superficies de intercambio gaseoso en los pulmones. En estos territorios, la delgada capa única de los epitelios simples resulta ventajosa, pues acorta la distancia existente y, por tanto, el tiempo que necesitan las sustancias para pasar o cruzar la barrera epitelial.

Un **epitelio estratificado** tiene como mínimo dos capas de células por encima de la lámina basal. Este tipo suele aparecer en las zonas sometidas a una agresión mecánica o química, como la superficie de la piel y el revestimiento de la boca. Las múltiples capas celulares que lo integran lo vuelven más grueso y robusto que los epitelios simples. Tanto los epitelios simples como los estratificados deben regenerarse, sustituyendo sus células a lo largo del tiempo. Las células germinativas siempre están en la lámina basal o en sus inmediaciones. Esto quiere decir que en los epitelios simples pertenecen a la superficie epitelial expuesta, mientras que en los estratificados están cubiertas por las células más superficiales.

La combinación entre las dos configuraciones epiteliales básicas (simple y estratificado) y las tres posibles formas que adoptan sus células (pavimentoso, cúbico y cilíndrico) permite describir casi todos los epitelios del organismo.

Epitelios pavimentosos [v. figura 3.4]

En un **epitelio pavimentoso** o **escamoso** (*squama,* placa o escama), las células son delgadas, planas y su forma es un tanto irregular, como las piezas de un rompecabezas (v. figura 3.4a). En las imágenes de un corte, el núcleo ocupa la porción más gruesa de cada una y adquiere una forma aplanada semejante a la de la célula en su conjunto; desde la superficie, las células parecen huevos fritos puestos uno al lado de otro. El **epitelio pavimentoso simple** es el tipo más delicado de todo el organismo. Esta clase de epitelio está presente en las regiones protegidas donde tienen lugar los procesos de absorción o donde una superficie resbaladiza y escurridiza reduce los fenómenos de rozamiento. Como ejemplos figuran las áreas dedicadas al intercambio respiratorio *(alvéolos)* en los pulmones, las serosas que revisten las cavidades corporales ventrales y la superficie interna del aparato circulatorio.

Se han adjudicado denominaciones especiales a los epitelios pavimentosos simples que tapizan las cavidades y las vías de paso no comunicadas con el mundo exterior. El epitelio pavimentoso simple que recubre las cavidades corporales ventrales se denomina **mesotelio** (*mesos,* medio). La pleura, el peritoneo y el pericardio contienen una capa sobre su superficie. El epitelio pavimentoso simple que reviste el corazón y todos los vasos sanguíneos recibe el nombre de **endotelio.**

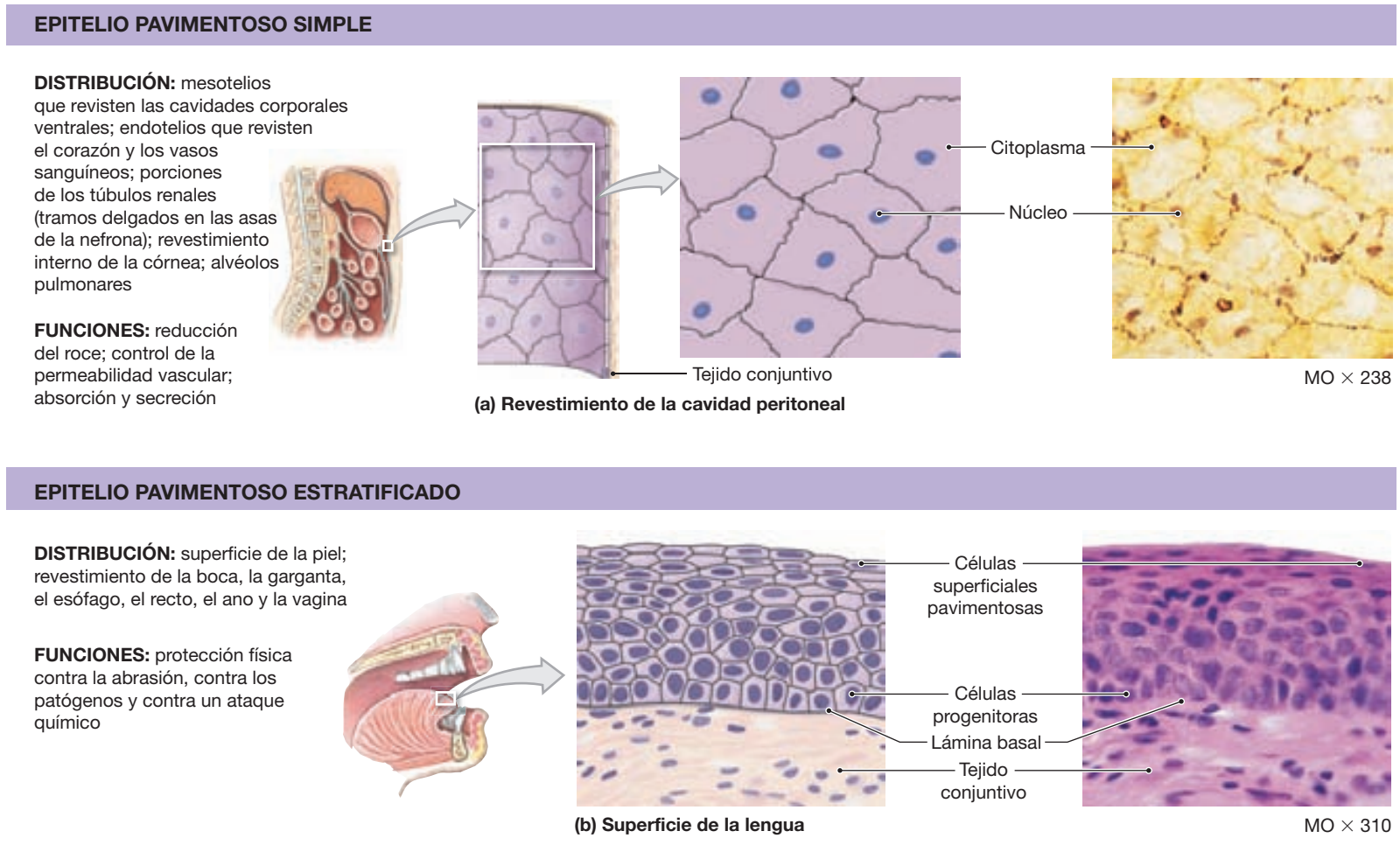

EPITELIO PAVIMENTOSO SIMPLE
DISTRIBUCIÓN: mesotelios que revisten las cavidades corporales ventrales; endotelios que revisten el corazón y los vasos sanguíneos; porciones de los túbulos renales (tramos delgados en las asas de la nefrona); revestimiento interno de la córnea; alvéolos pulmonares
FUNCIONES: reducción del roce; control de la permeabilidad vascular; absorción y secreción
Citoplasma
Núcleo
Tejido conjuntivo
(a) Revestimiento de la cavidad peritoneal
MO × 238
EPITELIO PAVIMENTOSO ESTRATIFICADO
DISTRIBUCIÓN: superficie de la piel; revestimiento de la boca, la garganta, el esófago, el recto, el ano y la vagina
FUNCIONES: protección física contra la abrasión, contra los patógenos y contra un ataque químico
Células superficiales pavimentosas
Células progenitoras
Lámina basal
Tejido conjuntivo
(b) Superficie de la lengua
MO × 310

Figura 3.4 Histología de los epitelios pavimentosos

(a) Epitelio pavimentoso simple. Visión superficial del epitelio pavimentoso simple *(mesotelio),* que rodea la cavidad peritoneal. El dibujo tridimensional muestra las visiones superficial y de corte del epitelio. **(b)** Epitelio pavimentoso estratificado. Visión de un corte del epitelio pavimentoso estratificado que recubre la lengua.

El **epitelio pavimentoso estratificado** (v. figura 3.4b) suele aparecer en los lugares de sobrecarga mecánica intensa. Véase cómo las células forman una serie de capas, igual que una pila de planchas de contrachapado. La superficie de la piel y el revestimiento que cubre la boca, la garganta, el esófago, el recto, la vagina y el ano son zonas donde este tipo epitelial ofrece una protección contra los ataques físicos y químicos. En las superficies corporales al descubierto, donde la agresión mecánica y la deshidratación plantean un problema en potencia, las capas apicales de células epiteliales se encuentran compactadas mediante filamentos de la proteína *queratina.* Por esta razón, dichas capas superficiales son fuertes e impermeables y se dice que el epitelio está **queratinizado.** Un epitelio pavimentoso estratificado **no queratinizado** proporciona resistencia a la abrasión, pero se secará y deteriorará si no mantiene la humedad. Este tipo está presente en la cavidad oral, la faringe, el esófago, el recto, el ano y la vagina.

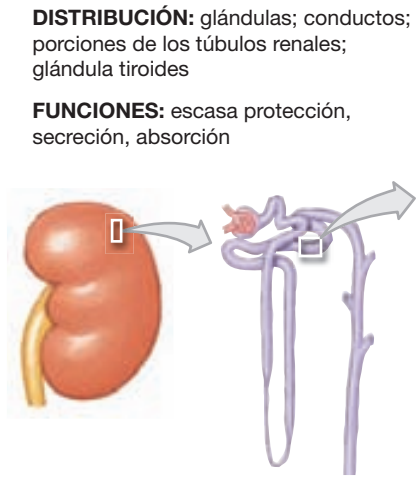
Epitelios cúbicos [v. figura 3.5]

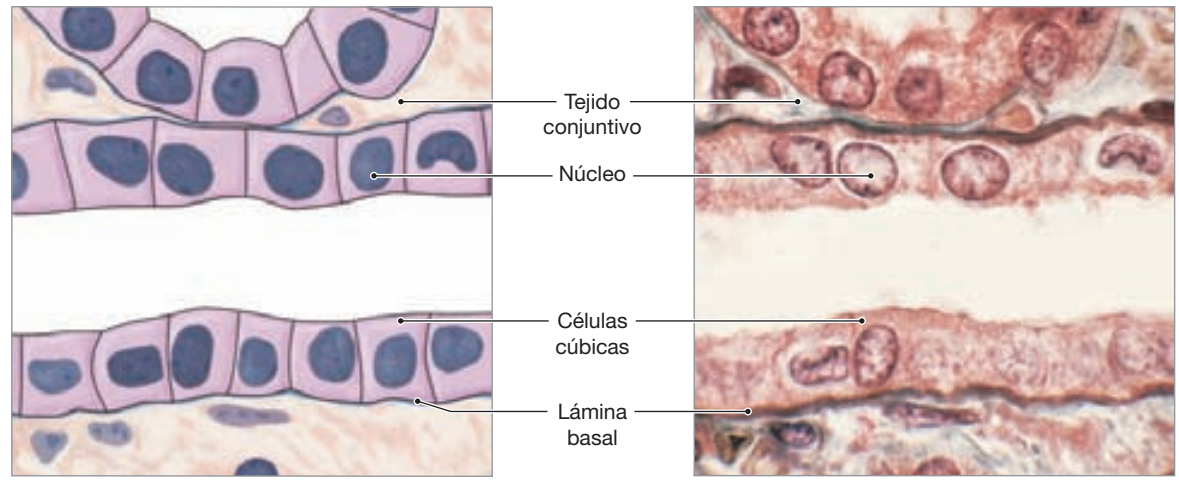
Las células de un **epitelio cúbico** se parecen a pequeñas cajas hexagonales; su imagen típica al corte es cuadrada. Cada núcleo está próximo al centro de la célula, siendo más o menos igual la distancia que queda entre los núcleos adyacentes y la altura del epitelio. Los **epitelios cúbicos simples** ofrecen poca protección y ocupan las regiones dedicadas a la secreción o a la absorción. Es el tipo que tapiza algunas porciones de los túbulos renales, tal como se observa en la figura 3.5a. En el páncreas y en las glándulas salivales, los epitelios cúbicos simples segregan enzimas y tampones y revisten los conductos para la salida de dichas secreciones. La glándula tiroidea contiene unas cavidades llamadas *folículos tiroideos* que están revestidas por un epitelio cúbico de tipo secretor. Las hormonas tiroideas, sobre todo la *tiroxina,* se acumulan en su interior antes de su liberación hacia el torrente circulatorio.

EPITELIO CÚBICO SIMPLE

DISTRIBUCIÓN: glándulas; conductos; porciones de los túbulos renales; glándula tiroides

FUNCIONES: escasa protección, secreción, absorción



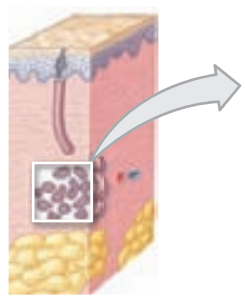


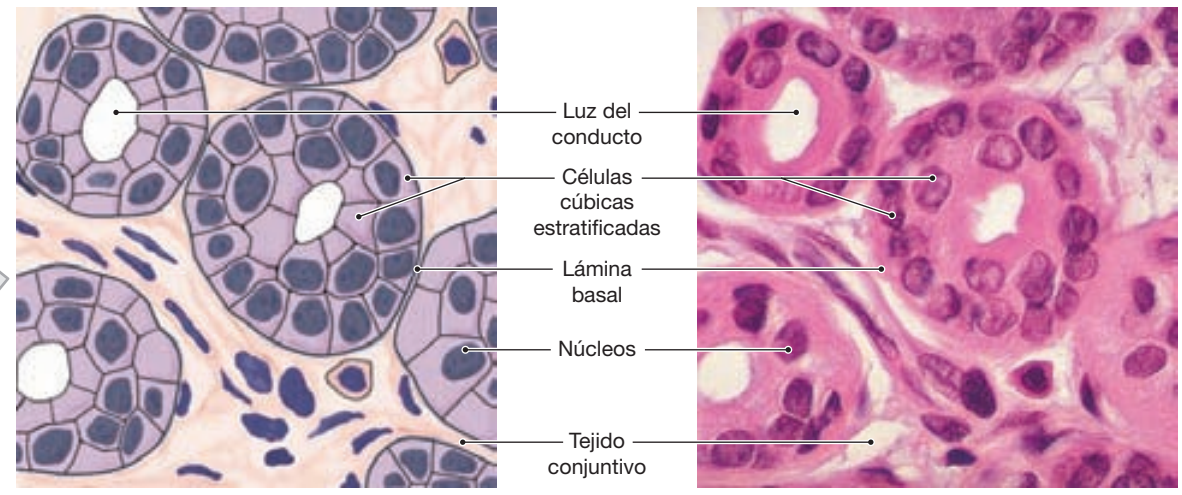
(a) Túbulo renal — MO × 1.426

EPITELIO CÚBICO ESTRATIFICADO

DISTRIBUCIÓN: revestimiento de algunos conductos (infrecuente)

FUNCIONES: protección, secreción, absorción





(b) Conducto de una glándula sudorípara — MO × 1.413

Figura 3.5 Histología de los epitelios cúbicos
(a) Epitelio cúbico simple. Corte a través del epitelio cúbico simple que reviste un túbulo renal. La vista esquemática destaca los detalles estructurales que permiten la clasificación de un epitelio como cúbico. **(b)** Epitelio cúbico estratificado. Vista de un corte del epitelio cúbico estratificado que tapiza el conducto de una glándula sudorípara en la piel.

Los **epitelios cúbicos estratificados** son relativamente raros; suelen aparecer a lo largo de los conductos de las glándulas sudoríparas (**v. figura 3.5b**) y en otros más grandes pertenecientes a ciertas glándulas exocrinas, como las mamarias.

Epitelios cilíndricos [v. figura 3.6]

Las células **epiteliales cilíndricas,** como las cúbicas, también son hexagonales en un corte transversal, pero en cambio se diferencian porque su altura es mucho mayor que su anchura. Los núcleos quedan apiñados en una estrecha banda cerca de la lámina basal y el epitelio tiene una altura varias veces superior a la distancia entre dos núcleos (**v. figura 3.6a**). Un **epitelio cilíndrico simple** ofrece cierta protección y también puede ocupar zonas de absorción o de secreción. Este tipo es el que reviste el estómago, el intestino, las trompas uterinas y muchos conductos excretores.

Los **epitelios cilíndricos estratificados** son relativamente infrecuentes, y proporcionan protección a ciertos tramos de la faringe, la uretra y el ano, y también a lo largo de unos cuantos conductos excretores de gran tamaño. El epitelio puede tener sólo dos capas (**v. figura 3.6b**) o múltiples capas; si es así, sólo las células superficiales adoptan la clásica forma cilíndrica.

Epitelios seudoestratificados y de transición [v. figura 3.7]

Dos formas especializadas de epitelios aparecen como revestimiento de las vías de paso en el aparato respiratorio y de los órganos huecos de conducción en el aparato urinario.

Algunos tramos de las vías respiratorias contienen un epitelio cilíndrico especializado, que recibe el nombre de **epitelio cilíndrico seudoestratificado,** formado por una mezcla de tipos celulares. Como sus núcleos están situados a diversas distancias de la superficie, el epitelio parece integrado por capas o

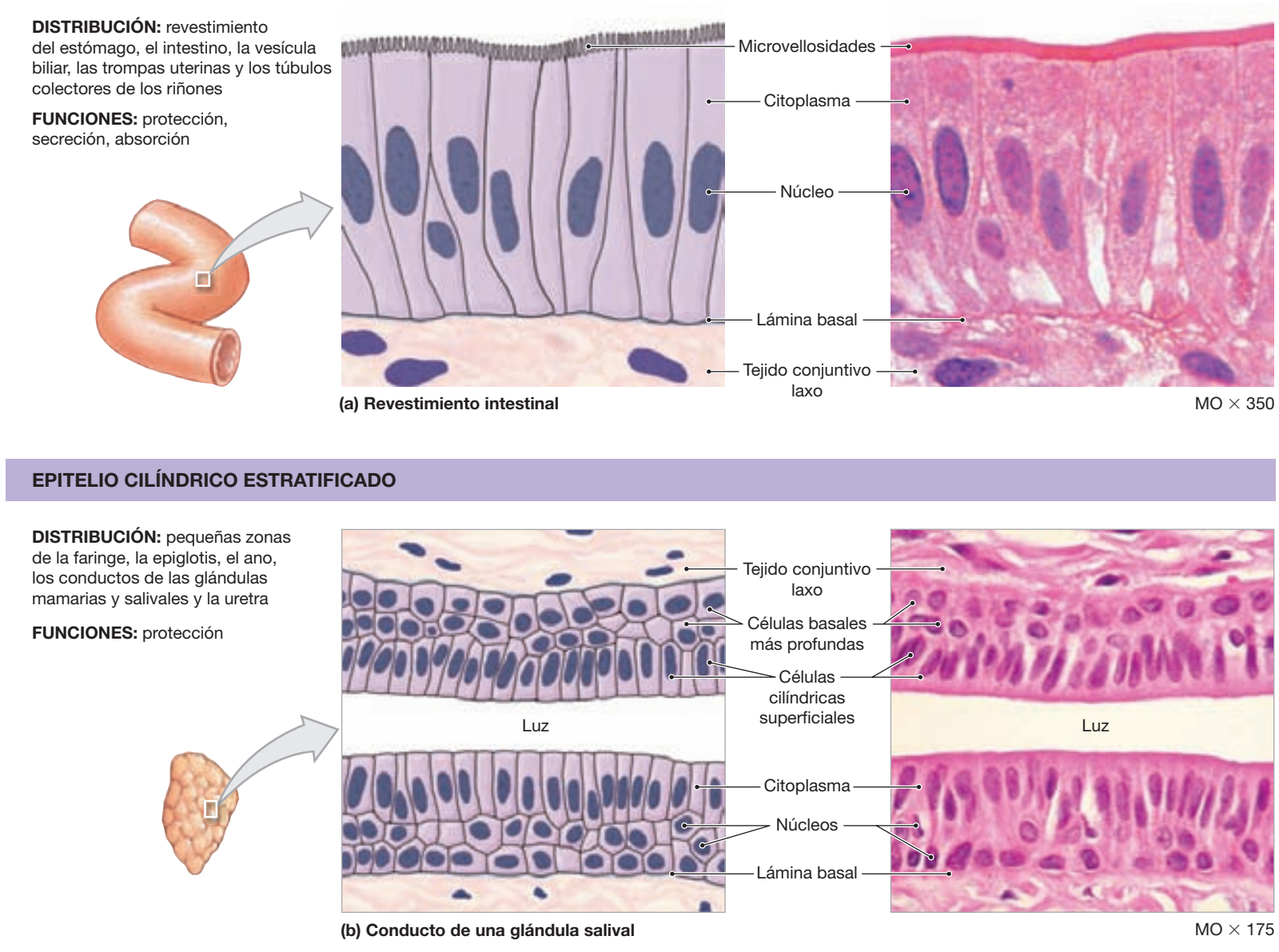

EPITELIO CILÍNDRICO SIMPLE
DISTRIBUCIÓN: revestimiento del estómago, el intestino, la vesícula biliar, las trompas uterinas y los túbulos colectores de los riñones
FUNCIONES: protección, secreción, absorción
Microvellosidades
Citoplasma
Núcleo
Lámina basal
Tejido conjuntivo laxo
(a) Revestimiento intestinal
MO × 350
EPITELIO CILÍNDRICO ESTRATIFICADO
DISTRIBUCIÓN: pequeñas zonas de la faringe, la epiglotis, el ano, los conductos de las glándulas mamarias y salivales y la uretra
FUNCIONES: protección
Tejido conjuntivo laxo
Células basales más profundas
Células cilíndricas superficiales
Luz
Citoplasma
Núcleos
Lámina basal
Luz
(b) Conducto de una glándula salival
MO × 175

Figura 3.6 Histología de los epitelios cilíndricos

(a) Epitelio cilíndrico simple. Microfotografía óptica que muestra las características del epitelio cilíndrico simple. En el esquema gráfico, obsérvense las relaciones entre la altura y la anchura de cada célula; el tamaño relativo, la forma y la situación de los núcleos, y la distancia entre los núcleos adyacentes. Compare estas observaciones con las características correspondientes de los epitelios cúbicos simples. **(b)** Epitelio cúbico estratificado. Un epitelio cúbico estratificado a veces está presente a lo largo de los conductos grandes, como este de una glándula salival. Fíjese en la altura total del epitelio, así como en la ubicación y la orientación de los núcleos.

estratos. Dado que todas las células están apoyadas sobre la lámina basal, en realidad se trata de un epitelio simple; por tanto, se le denomina epitelio cilíndrico seudoestratificado. Las células epiteliales que quedan al descubierto presentan la propiedad de poseer cilios, por lo que muchas veces se les llama **epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado** (v. figura 3.7a). Este tipo de epitelio reviste la mayor parte de la cavidad nasal, la tráquea, los bronquios y también partes de las vías genitales masculinas.

Los **epitelios de transición,** recogidos en la figura 3.7b, revisten la pelvis renal, los uréteres y la vejiga urinaria. Se trata de un epitelio estratificado dotado de unas características especiales que le permiten dilatarse o estirarse. Al estrecharse, los epitelios de transición recuerdan a un epitelio estratificado no queratinizado provisto de dos o tres capas. En una vejiga vacía (v. figura 3.7b), el epitelio parece tener muchas capas, y las más externas contienen unas clásicas células cúbicas redondeadas. La configuración del epitelio de transición le permite aceptar una considerable expansión sin afectar a sus células componentes.

Epitelios glandulares

Muchos epitelios contienen células glandulares que producen secreciones. Las *glándulas exocrinas* vierten sus productos sobre una superficie epitelial. Se clasifican según el tipo de secreción emitida, la estructura de la glándula y el modo de secreción. Estas glándulas pueden ser unicelulares o pluricelulares y segregan mucinas, enzimas, agua y productos de desecho. Las sustancias se

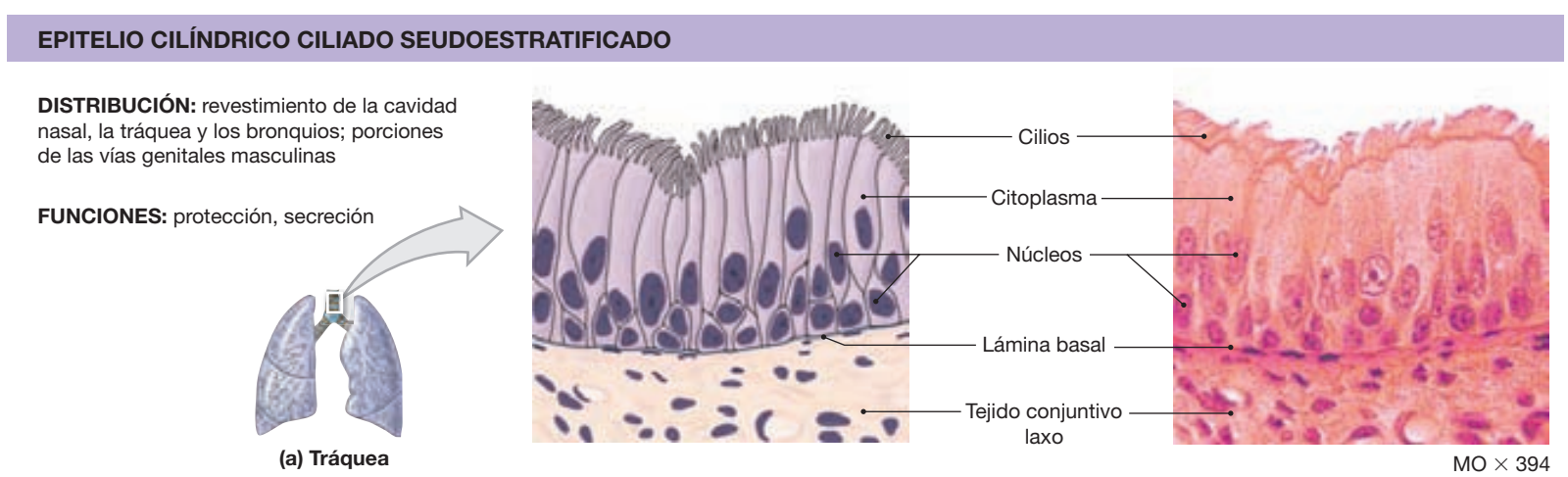


Figura 3.7 Histología del epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado y el epitelio de transición
(a) Epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado. Epitelio cilíndrico, ciliado, seudoestratificado de las vías respiratorias. Obsérvese la estratificación irregular de los núcleos. **(b)** Epitelio de transición. Vista de un corte del epitelio de transición que reviste la vejiga urinaria. Las células de una vejiga vacía se encuentran en un estado de relajación, mientras que cuando está llena los efectos del estiramiento se manifiestan sobre su disposición en el epitelio.

vierten sobre las superficies apicales de cada célula glandular. Las *glándulas endocrinas* carecen de conducto y lanzan sus secreciones directamente a los líquidos intersticiales, la linfa o la sangre.

Tipos de secreción

Las secreciones **exocrinas** (*exo-*, exterior) se expulsan sobre la superficie de la piel o sobre la de un epitelio que revista alguna de las vías de conducción internas abierta al exterior a través de un **conducto** epitelial en conexión con la superficie de la piel o con la de un epitelio. Estos conductos pueden soltar la secreción sin alterar o modificarla por un conjunto de mecanismos, como la reabsorción, la secreción y el contratransporte. Las enzimas liberadas al tubo digestivo, la transpiración de la piel y la leche producida por las glándulas mamarias son ejemplos de secreciones exocrinas.

Las glándulas exocrinas pueden clasificarse según la naturaleza de la secreción producida:

- Las *glándulas serosas* segregan una solución acuosa que suele contener enzimas, como la amilasa salival de la saliva.
- Las *glándulas mucosas* segregan unas glucoproteínas llamadas **mucinas** que absorben agua para formar un *moco* resbaladizo, como el de la saliva.
- Las *glándulas exocrinas mixtas* contienen más de un tipo de célula glandular y pueden producir dos secreciones exocrinas diferentes, una serosa y otra mucosa.

Las secreciones **endocrinas** (*endo-*, interior) se emiten por exocitosis desde las células glandulares hacia el líquido que las rodea. Estas secreciones, llamadas **hormonas,** difunden hacia la sangre para su distribución por otras regiones del organismo, donde regulan o coordinan las actividades de diversos tejidos, órganos y sistemas orgánicos. Las células endocrinas, los tejidos, los órganos y las hormonas se estudian a fondo en el capítulo 19.

Estructura de las glándulas [v. figuras 3.8/3.9]

En los epitelios que contienen células secretoras glandulares dispersas, cada una recibe el nombre de **glándula unicelular.** Las **glándulas pluricelulares** comprenden los epitelios glandulares y los agregados de células glandulares que producen secreciones exocrinas o endocrinas.

Las glándulas exocrinas unicelulares segregan mucinas. Hay dos tipos, las *células caliciformes* y las *células mucosas.* Ambos se encuentran esparcidos entre otras células epiteliales. Por ejemplo, las células mucosas aparecen en el epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado que reviste la tráquea, mien-

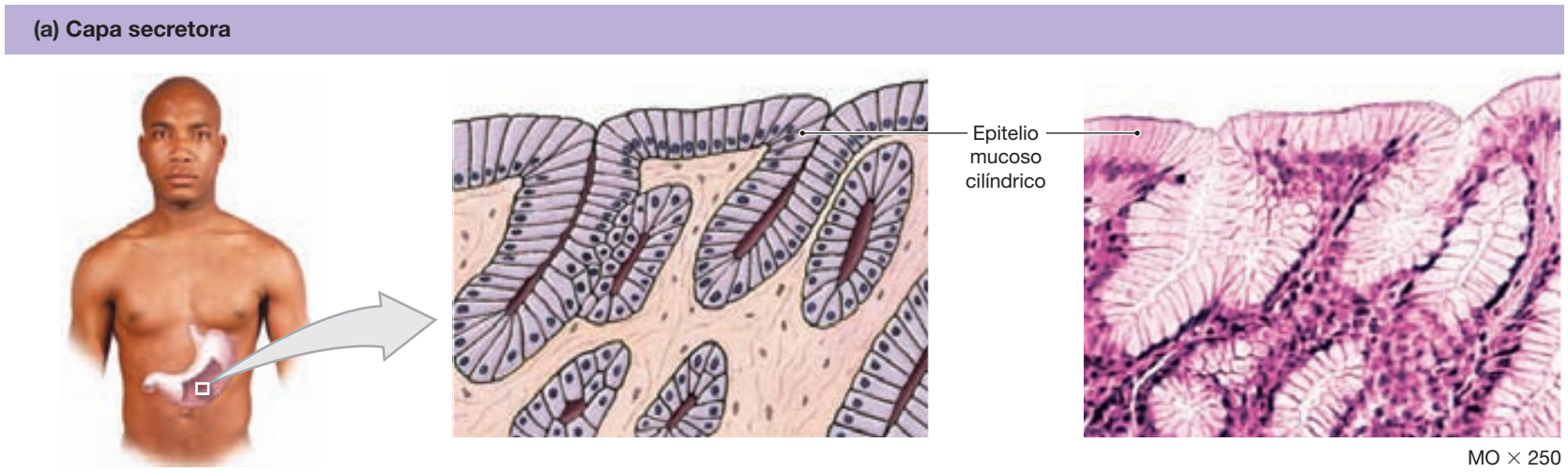


Figura 3.8 Histología de los epitelios glandulares mucoso y mixto
(a) El interior del estómago está tapizado por una capa secretora cuyos productos protegen las paredes contra los ácidos y las enzimas. (Estos ácidos y enzimas están fabricados por unas glándulas que vierten sus secreciones sobre la superficie del epitelio mucoso.) **(b)** La glándula salival submandibular es una glándula mixta que contiene células productoras de secreciones serosas y mucosas. Las células mucosas poseen grandes vesículas cargadas de mucinas y tienen un aspecto pálido y espumoso. Las células serosas segregan enzimas y las proteínas se tiñen de oscuro.

tras que el epitelio cilíndrico de los intestinos delgado y grueso contiene células caliciformes en abundancia.

La **glándula exocrina pluricelular** más sencilla se denomina **lámina secretora.** En una lámina secretora, las células glandulares predominan en el epitelio y liberan sus secreciones hacia un compartimento interno (v. figura 3.8a). Las células secretoras de moco que tapizan el estómago constituyen un ejemplo de lámina secretora. Su actividad constante protege este órgano de los ácidos y las enzimas que contiene.

La mayor parte de las demás glándulas exocrinas pluricelulares se encuentran en bolsas apartadas de la superficie epitelial. La figura 3.8b ofrece un ejemplo, una glándula salival que produce moco y enzimas digestivas. Estas glándulas exocrinas pluricelulares tienen dos componentes epiteliales: una porción glandular que elabora la secreción y un conducto que la transporta hasta la superficie del epitelio.

Se recurre a dos características para describir la organización de una glándula pluricelular: 1) la forma de su porción secretora, y 2) el patrón de ramificación que sigue el conducto.

1. Las glándulas constituidas por células dispuestas en un tubo son células **tubulares;** las formadas por células organizadas en una bolsa ciega son **alveolares** (*alveolus,* saco) o **acinares** (*acinus,* cavidad). Finalmente, las que presentan una combinación de estas dos posibilidades se denominan **tubuloalveolares** o bien **tubuloacinares.**
2. Un conducto se califica como **simple** si no se ramifica y como **compuesto** si lo hace repetidas veces. Cada zona glandular puede tener su propio conducto; en el caso de las glándulas ramificadas, varias comparten uno en común.

La figura 3.9 esquematiza este método de clasificación basado en la estructura glandular. A lo largo de los próximos capítulos se comentarán ejemplos específicos de cada uno de los tipos.

Modos de secreción [v. figura 3.10]

Las células epiteliales glandulares pueden utilizar alguno de los tres métodos existentes para verter sus secreciones: *secreción merocrina, secreción apocrina* o *secreción holocrina.* En la **secreción merocrina** (*meros,* parte + *krinein,* separar), el producto de secreción se libera por exocitosis (v. figura 3.10a). Este es el modo de secreción más frecuente. Por ejemplo, las células caliciformes liberan el **moco** por secreción merocrina. La **secreción apocrina** (*apo-,* fuera) entraña la pérdida de citoplasma junto al producto de secreción (v. figura 3.10b). La porción apical del citoplasma queda envuelta con las vesículas secretoras antes de desprenderse. La producción de leche por las glándulas galactóforas en la mama supone una combinación de secreción merocrina y apocrina.

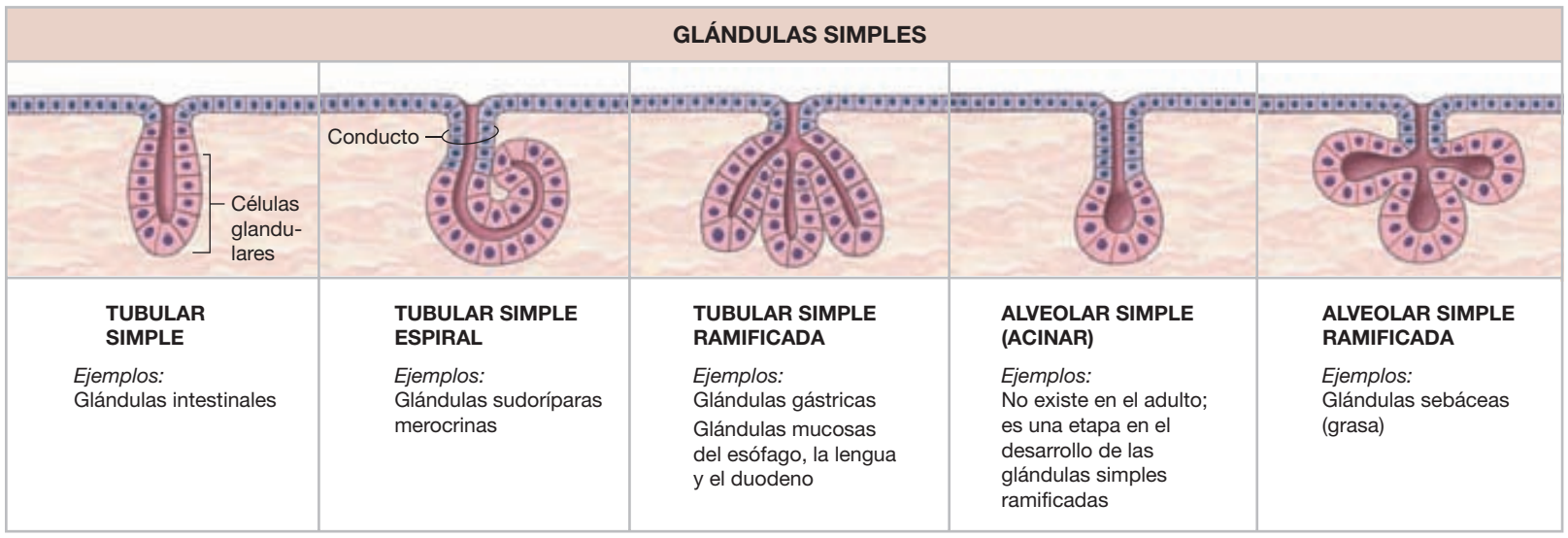


Figura 3.9 **Clasificación estructural de las glándulas exocrinas simples y compuestas**

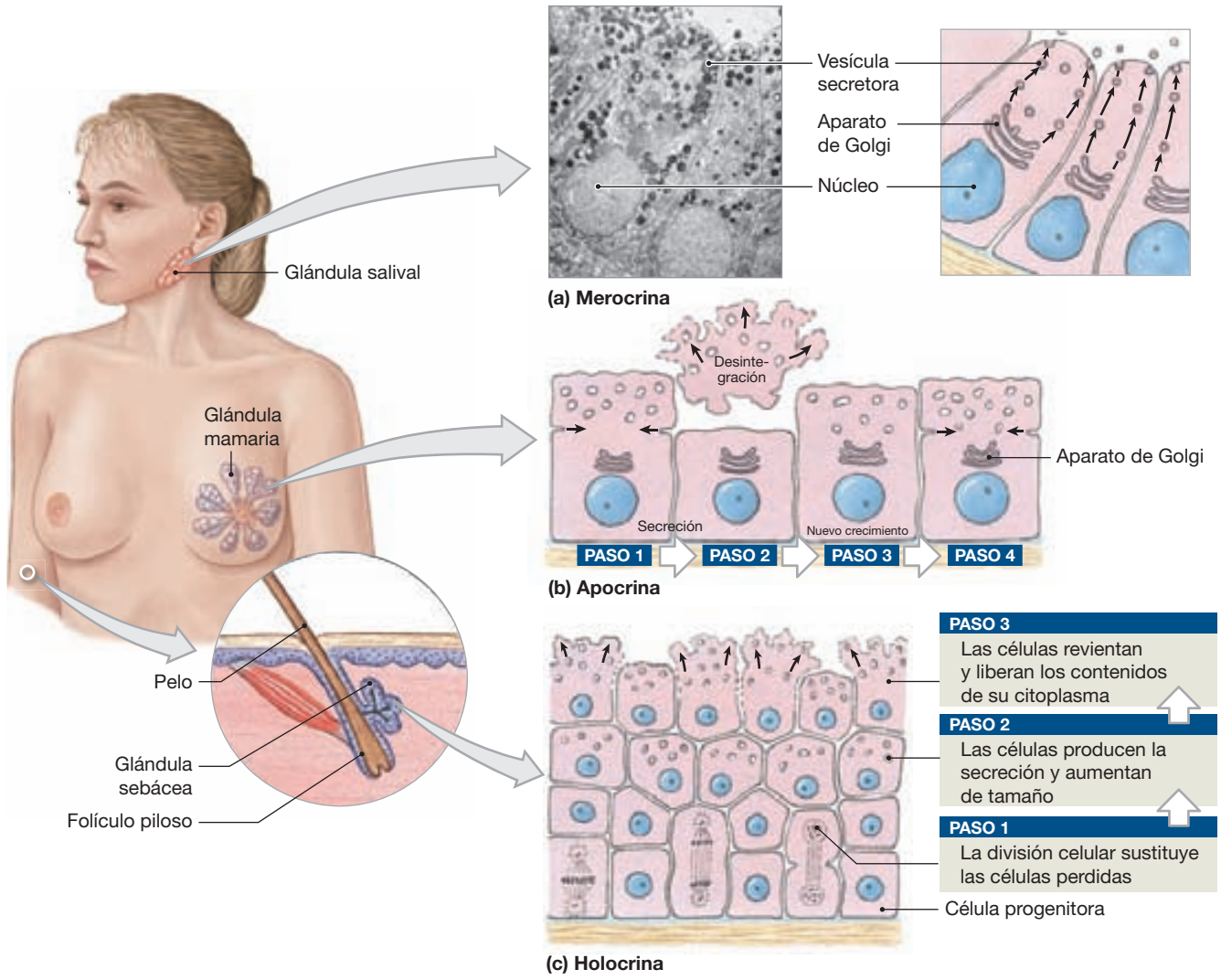


Figura 3.10 Mecanismos de secreción glandular

Representación esquemática de los mecanismos de secreción glandular exocrina. **(a)** En la secreción merocrina, las vesículas secretoras se vierten a la superficie de la célula glandular por exocitosis. **(b)** La secreción apocrina supone la pérdida de citoplasma. Las inclusiones, las vesículas secretoras y otros componentes citoplásmicos se desprenden hacia la superficie apical de la célula. Entonces, la célula glandular experimenta un período de crecimiento y reparación antes de liberar más secreciones. **(c)** La secreción holocrina tiene lugar cuando las células glandulares superficiales se desintegran. La continuidad de la secreción supone su sustitución mediante la división mitótica de las células progenitoras subyacentes.

Las secreciones merocrina y apocrina dejan intacto el núcleo y el aparato de Golgi en la célula, por lo que pueden seguir efectuándose reparaciones y segregando. En cambio, la **secreción holocrina** (*holos,* total) destruye la célula glandular. Durante este proceso, la célula se ve envuelta en su integridad junto a los productos de secreción, y después se desintegra (**v. figura 3.10c**). La secreción se libera y la célula muere. Su continuación depende de la sustitución de las células glandulares mediante la división de las células progenitoras. Las glándulas sebáceas que están asociadas a los folículos pilosos producen un recubrimiento del pelo parecido a la cera por medio de la secreción holocrina.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Al mirar un tejido al microscopio, ve un epitelio pavimentoso simple. ¿Puede ser una muestra de la superficie cutánea?
2. ¿Por qué es necesaria la regeneración epitelial en una glándula que libera su producto por secreción holocrina?
3. Las glándulas ceruminosas del conducto auditivo externo emiten sus productos en el oído por secreción apocrina. ¿Qué sucede en este modo de secreción?
4. ¿Qué funciones están vinculadas a los epitelios cilíndricos simples?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Tejidos conjuntivos

Los tejidos conjuntivos se encuentran por todo el cuerpo, pero nunca quedan expuestos a ningún medio que se encuentre fuera del organismo. Entre ellos figuran el hueso, la grasa y la sangre, tejidos bastante diferentes no sólo en su aspecto sino también en su función. No obstante, todos los tejidos conjuntivos tienen tres componentes básicos: 1) células especializadas; 2) fibras proteicas extracelulares, y 3) un líquido llamado **sustancia fundamental.** Las fibras extracelulares y la sustancia fundamental constituyen la **matriz** que rodea a las células. Mientras el tejido epitelial está compuesto casi exclusivamente por células, el tejido conjuntivo consta en su mayor parte de matriz extracelular.

Los tejidos conjuntivos cumplen toda una gama de funciones, que suponen mucho más que la mera conexión entre las partes del cuerpo. Entre ellas se incluyen las siguientes:

1. Constitución de un armazón estructural para el cuerpo.
2. Transporte de líquidos y sustancias disueltas desde una región a otra del cuerpo.
3. Protección para los órganos delicados.
4. Apoyo, envoltura e interconexión de otros tipos tisulares.

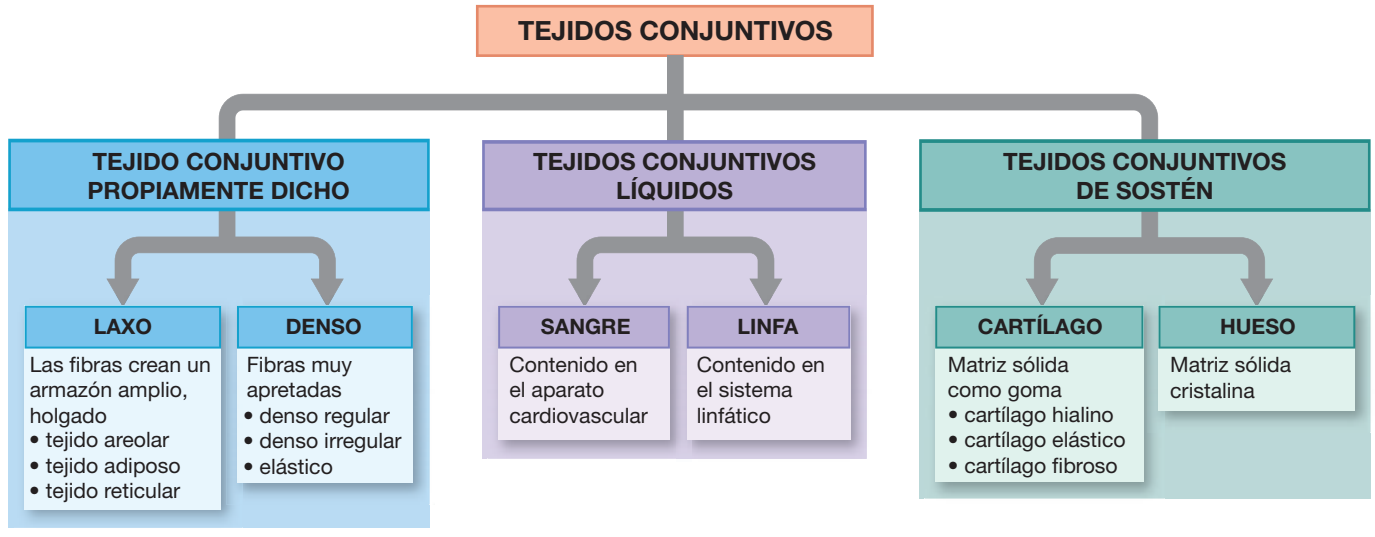


Figura 3.11 **Clasificación de los tejidos conjuntivos**

5. Conservación de las reservas de energía, sobre todo en forma de lípidos.
6. Defensa del cuerpo contra su invasión por microorganismos.

Aunque la mayor parte de los tejidos conjuntivos cumplen múltiples funciones, ninguno las realiza todas él solo.

Clasificación de los tejidos conjuntivos [v. figura 3.11]

El tejido conjuntivo puede clasificarse en tres categorías: 1) *tejido conjuntivo propiamente dicho;* 2) *tejidos conjuntivos líquidos,* y 3) *tejidos conjuntivos de sostén.* En la **figura 3.11** aparecen representadas estas categorías.

1. El *tejido conjuntivo propiamente dicho* designa los tejidos conjuntivos formados por muchos tipos de células y fibras extracelulares dentro de una sustancia fundamental parecida a jarabe. Estos tejidos conjuntivos pueden distinguirse según el número de tipos celulares que contengan, así como las propiedades y las proporciones relativas de sus fibras y su sustancia fundamental. El *tejido adiposo* (grasa), los *ligamentos* y los *tendones* son muy diferentes, pero los tres son ejemplos de este tejido conjuntivo propiamente dicho.
2. Los *tejidos conjuntivos líquidos* tienen una población característica de células, suspendida en una matriz acuosa que lleva proteínas disueltas. Hay dos tipos de tejidos conjuntivos líquidos: la *sangre* y la *linfa.*
3. Los *tejidos conjuntivos de sostén* muestran una población celular menos variada que el tejido conjuntivo propiamente dicho y una matriz que contiene fibras muy apretadas. Hay dos tipos distintos: el *cartílago* y el *hueso.* La matriz del cartílago es un gel cuyas características cambian según la clase de fibra predominante. Se dice que la matriz del hueso está **calcificada** porque contiene depósitos minerales, en especial sales de calcio. Estos minerales otorgan al hueso resistencia y rigidez.

Tejido conjuntivo propiamente dicho [v. figura 3.12 y tabla 3.1]

El **tejido conjuntivo propiamente dicho** contiene fibras extracelulares, una sustancia fundamental viscosa (como jarabe) y dos clases de células. Las **células fijas** están inmóviles y ante todo participan en tareas de mantenimiento local, reparación y almacenamiento de energía. Las **células móviles** básicamente tienen que ver con la defensa y la reparación de los tejidos alterados. El número total de células varía en cualquier momento dado según las condiciones locales. Consulte la **figura 3.12** y la tabla 3.1 dedicadas a la descripción de las células y las fibras del tejido conjuntivo propiamente dicho.

Células del tejido conjuntivo propiamente dicho

Células fijas Las células fijas incluyen las *células mesenquimales,* los *fibroblastos,* los *fibrocitos,* los *macrófagos fijos,* los *adipocitos* y, en unos pocos lugares, los *melanocitos.*

- Las *células mesenquimales* son las células progenitoras que están presentes en muchos tejidos conjuntivos. Frente a una lesión o una infección local, responden dividiéndose para producir células hijas que se diferencian en fibroblastos, macrófagos u otras células del tejido conjuntivo.
- Los *fibroblastos* son una de las dos células fijas más abundantes en el tejido conjuntivo propiamente dicho y las únicas que siempre están presentes. Estas células finas o *estrelladas* (con forma de estrella) son las responsables de producir todas las fibras del tejido conjuntivo. Cada fibroblasto sintetiza y segrega subunidades proteicas que interactúan para formar grandes fibras extracelulares. Además, segregan *hialuronano,* que otorga su consistencia viscosa a la sustancia fundamental.
- Los *fibrocitos* se diferencian a partir de los fibroblastos, y representan la segunda célula fija más abundante en el tejido conjuntivo propiamente dicho. Estas células estrelladas sirven para mantener sus fibras de tejido conjuntivo. Dado que su actividad de síntesis es bastante baja, la tinción del citoplasma resulta notablemente escasa, y en una preparación histológica habitual no es visible más que el núcleo.
- Los *macrófagos fijos* (*phagein,* comer) son grandes células ameboideas que se encuentran esparcidas entre las fibras. Durante su acción, rodean a las células alteradas o a los patógenos que penetran en el tejido. Aunque no abundan, desempeñan una función importante para movilizar las defensas del organismo. Al estimularse, liberan productos químicos que activan el sistema inmunitario y atraen a una gran cantidad de células móviles implicadas en los mecanismos defensivos del cuerpo.
- Los *adipocitos* también reciben el nombre de células grasas, o *células adiposas.* Un adipocito típico es una célula fija que contiene una única gotita lipídica enorme. El núcleo y los demás orgánulos quedan oprimidos hacia un lado, por lo que en un corte la célula parece un anillo de graduación. El número de adipocitos varía de un tipo de tejido conjuntivo a otro, de una región del cuerpo a otra y de una persona a otra.
- Los *melanocitos* sintetizan y acumulan un pigmento marrón, la **melanina,** que confiere al tejido un color oscuro. Su presencia es frecuente en el

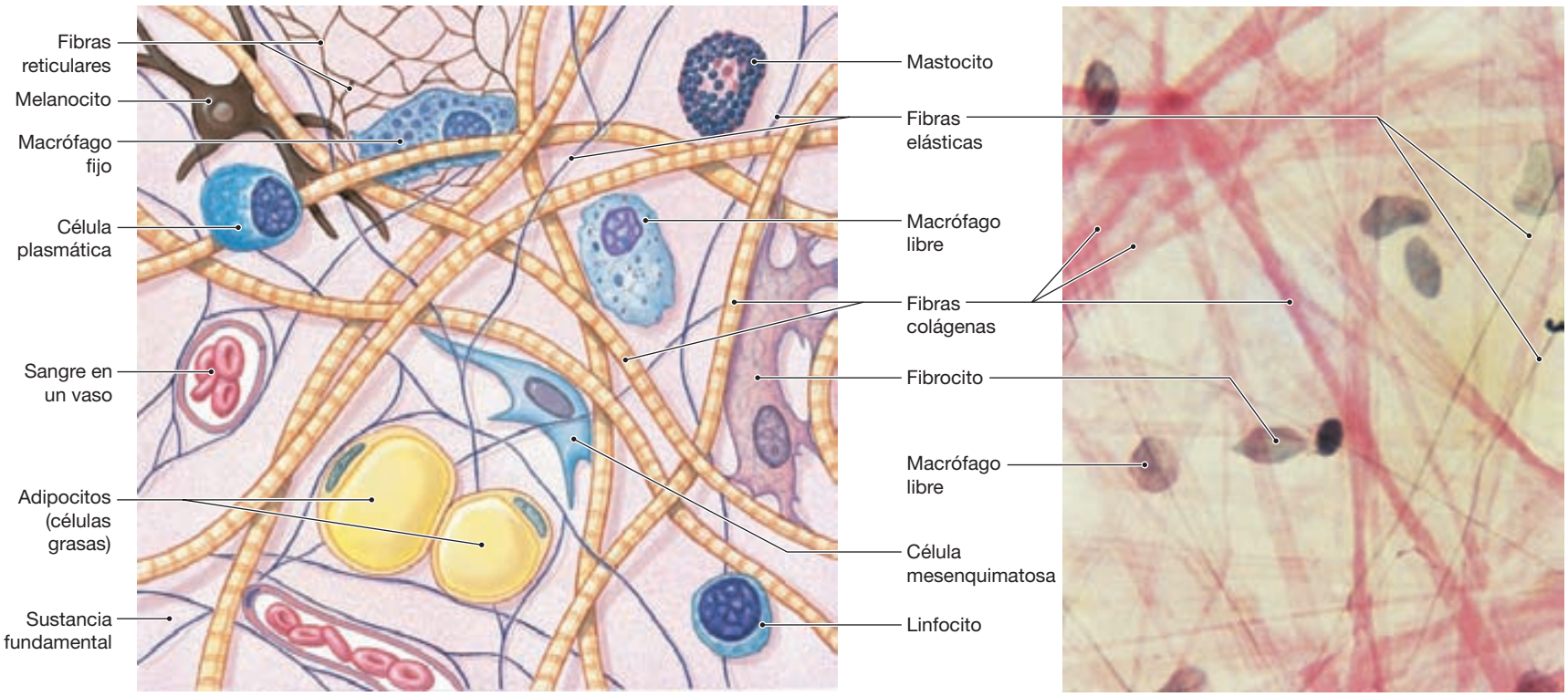


Figura 3.12 Histología de las células y las fibras del tejido conjuntivo propiamente dicho
(a) Vista esquemática de las células y las fibras en el tejido areolar, el tipo más frecuente de tejido conjuntivo propiamente dicho. **(b)** Microfotografía óptica que muestra el tejido areolar encargado de sostener el mesotelio que reviste el peritoneo (MO × 502).

TABLA 3.1 Comparación entre algunas funciones de las células fijas y las células móviles

Tipos celulares	Funciones
CÉLULAS FIJAS	
Fibroblastos	Producción de fibras del tejido conjuntivo
Fibrocitos	Mantenimiento de las fibras del tejido conjuntivo y de su matriz
Macrófagos fijos	Fagocitosis de los patógenos y las células alteradas
Adipocitos	Almacenamiento de las reservas lipídicas
Células mesenquimatosas	Células progenitoras del tejido conjuntivo capaces de diferenciarse en otros tipos celulares
Melanocitos	Síntesis de melanina
CÉLULAS MÓVILES	
Macrófagos libres	Células fagocíticas migratorias/itinerantes (derivadas de los monocitos de la sangre)
Mastocitos	Estimulación de la inflamación local
Linfocitos	Participación en la respuesta inmunitaria
Neutrófilos y eosinófilos	Pequeñas células fagocíticas de la sangre movilizadas por una infección o una lesión tisular

epitelio cutáneo, donde representan un papel fundamental para determinar el color de la piel. Asimismo, aparecen en el tejido conjuntivo subyacente (la *dermis*), aunque su distribución varía mucho debido a factores regionales, individuales y raciales. Los melanocitos también abundan en los tejidos conjuntivos de los ojos.

Células móviles Los *macrófagos libres,* los *mastocitos,* los *linfocitos,* las *células plasmáticas,* los *neutrófilos* y los *eosinófilos* constituyen las células móviles.

- Los *macrófagos libres* son unas células fagocíticas relativamente grandes, que se mueven con rapidez por los tejidos conjuntivos del cuerpo. Cuando circulan por la sangre, reciben el nombre de *monocitos.* En efecto, los pocos macrófagos fijos de un tejido proporcionan una defensa «de primera línea», reforzada por la llegada de los macrófagos libres y de otras células especializadas.
- Los *mastocitos* son pequeñas células móviles del tejido conjuntivo, que a menudo están cerca de los vasos sanguíneos. Su citoplasma se encuentra lleno de gránulos secretores de **histamina** y **heparina.** Estas sustancias químicas, que se emiten después de una lesión o una infección, estimulan la inflamación local.
- Los *linfocitos,* como los macrófagos libres, emigran a través de todo el cuerpo. Su número crece acusadamente en cualquier punto afectado por una alteración tisular, y algunos pueden convertirse en **células plasmáticas** (plasmocitos). Las células plasmáticas son las responsables de la producción de *anticuerpos,* proteínas que participan en la defensa del organismo contra la enfermedad.
- Los *neutrófilos* y los *eosinófilos* son células sanguíneas fagocíticas más pequeñas que los monocitos. En su caso, emigran a través de los tejidos conjuntivos en un número escaso. Cuando se produce una infección o una lesión, los productos químicos liberados por los macrófagos y los mastocitos atraen a los neutrófilos y los eosinófilos en gran cantidad.

Fibras del tejido conjuntivo [v. figuras 3.12/3.13/3.14/3.15]

En el tejido conjuntivo se encuentran tres tipos de fibras: *fibras colágenas, reticulares* y *elásticas.* Los fibroblastos producen los tres tipos mediante la síntesis y secreción de subunidades proteínicas que se combinan o agregan en la matriz. Los fibrocitos son los responsables de conservar estas fibras del tejido conjuntivo.

1. Las *fibras colágenas* son largas, rectas y no ramificadas (v. figura 3.12). Se trata de las más frecuentes en el tejido conjuntivo propiamente dicho y las más fuertes. Cada fibra colágena consta de tres subunidades proteicas fibrosas enrolladas entre sí igual que las hebras de una soga; como esta estructura, una fibra colágena es flexible, pero a la vez tiene una gran solidez frente a la tracción ejercida desde cualquiera de sus cabos. Este tipo de fuerza aplicada se denomina *tensión* y la capacidad de oponerse a ella *resistencia a la tensión.* Los **tendones** (v. figura 3.15a, p. 67) están compuestos casi íntegramente por fibras colágenas y ponen en contacto los músculos estriados con los huesos. Los **ligamentos** típicos son parecidos a los tendones, pero unen a un hueso con otro. La alineación paralela de las fibras colágenas en los tendones y los ligamentos les permite aguantar unas fuerzas tremendas; las contracciones musculares o los movimientos óseos incontrolados van a fracturar un hueso antes que a romper un tendón o un ligamento.
2. Las *fibras reticulares* (*reticulum,* red) contienen las mismas subunidades proteicas que las fibras colágenas, pero su interacción entre ellas es diferente. Son unas fibras más delgadas y forman una estructura ramificada entretejida, que es dura pero flexible. Estas fibras resultan especialmente abundantes en órganos como el bazo y el hígado, donde crean una complicada red tridimensional, o *estroma,* que mantiene el *parénquima,* es decir, las células funcionales características de estos órganos (v. figuras 3.12a y 3.14c). Al formar una trama, en vez de compartir una alineación común, las fibras reticulares pueden resistir las fuerzas aplicadas desde muchas direcciones diferentes. Por tanto, son capaces de estabilizar las posiciones relativas que ocupan las células de un órgano, los vasos sanguíneos y los nervios a pesar de que cambie la postura y la fuerza de la gravedad.
3. Las *fibras elásticas* contienen la proteína *elastina.* Por su disposición, son onduladas y ramificadas, y después de estirarse hasta un 150% de su longitud en reposo, retroceden para recuperar sus dimensiones primitivas. Los **ligamentos elásticos** poseen más fibras elásticas que colágenas. Su presencia es relativamente infrecuente, pero ocupan zonas que exigen una mayor elasticidad, como las que conectan dos vértebras contiguas (v. figura 3.15b, p. 67).

Sustancia fundamental [v. figura 3.12a]

Los componentes celulares y fibrosos de los tejidos conjuntivos están rodeados por una solución denominada sustancia fundamental (v. figura 3.12a). En un tejido conjuntivo propiamente dicho normal, este componente es transparente, incoloro y de consistencia similar al jarabe de arce. Además de hialuronano, la sustancia fundamental contiene una mezcla de diversos proteoglucanos y glucoproteínas que interactúan para determinar sus características.

El tejido conjuntivo propiamente dicho puede dividirse en *tejidos conjuntivos laxos* y *tejidos conjuntivos densos,* según las proporciones relativas que presenten de células, fibras y sustancia fundamental.

Tejidos embrionarios [v. figura 3.13]

El **mesénquima** es el primer tejido conjuntivo que aparece en el embrión en desarrollo. Contiene unas células estrelladas, separadas por una matriz que incluye unos filamentos proteicos muy delgados. Este tejido conjuntivo (v. figura 3.13a) da origen a todos los demás, incluidos los líquidos, el cartílago y el hueso. El **tejido conjuntivo mucoso,** o *gelatina de Wharton* (v. figura 3.13b), es un tejido conjuntivo laxo presente en muchas regiones del embrión, entre ellas, el cordón umbilical.

Ninguno de estos tejidos conjuntivos embrionarios aparece en el adulto. Sin embargo, muchos tejidos conjuntivos adultos contienen células mesenquimales (progenitoras) dispersas, que contribuyen a su reparación después de una lesión o una alteración.

Tejidos conjuntivos laxos

Los **tejidos conjuntivos laxos** representan el «material de embalaje» del cuerpo. Llenan los espacios que quedan entre los órganos, amortiguan y dan soporte a los epitelios. También rodean y sustentan los vasos sanguíneos y los nervios, acumulan lípidos y suministran una vía para la difusión de las sustancias. Hay tres tipos de tejidos conjuntivos laxos: *tejido areolar, tejido adiposo* y *tejido reticular.*

Tejido areolar [v. figura 3.14a] El tejido conjuntivo menos especializado del organismo adulto es el tejido areolar (*areola,* espacio pequeño). Este tejido, que aparece en la figura 3.14a, contiene todas las células y fibras presentes en

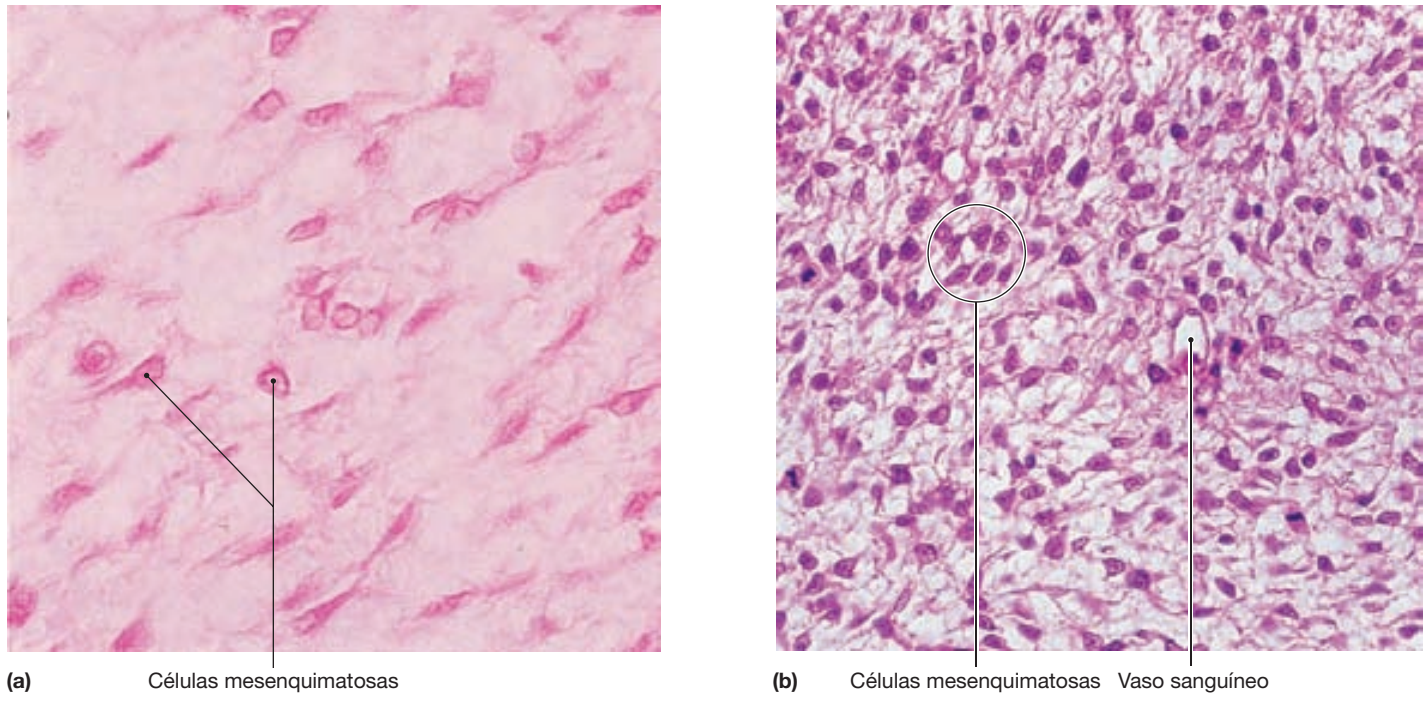
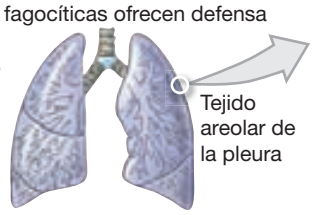


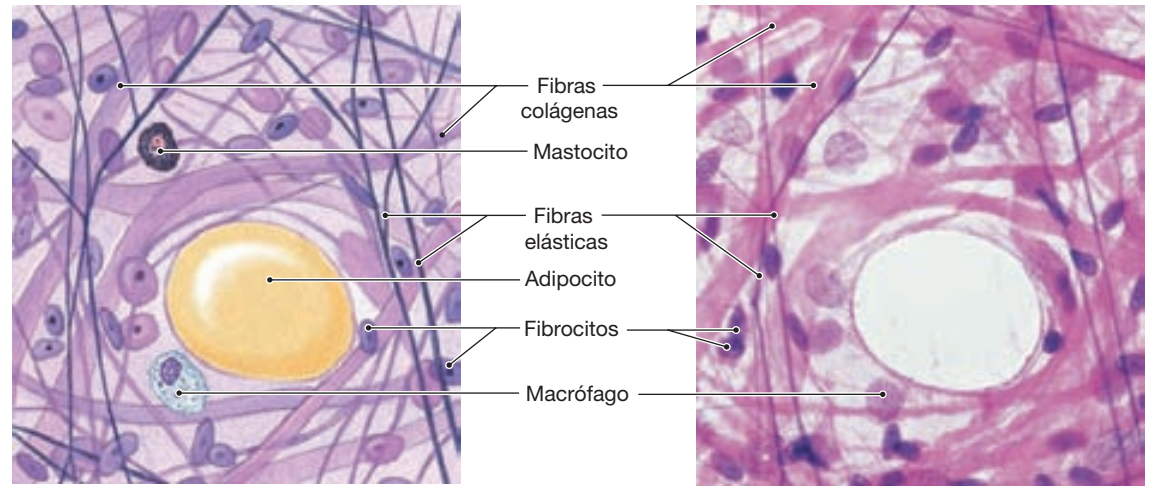
Figura 3.13 Histología de los tejidos conjuntivos embrionarios
Estos tipos de tejido conjuntivo dan origen a todos los demás. **(a)** Mesénquima. Este es el primer tejido conjuntivo que aparece en el embrión (MO × 1.036). **(b)** Tejido conjuntivo mucoso *(gelatina de Wharton).* Esta muestra procede del cordón umbilical de un feto (MO × 650).

TEJIDO AREOLAR

DISTRIBUCIÓN: en el interior de la dermis de la piel y profundo a ella, y cubierto por el revestimiento epitelial del tubo digestivo y las vías respiratorias y urinarias; entre los músculos; alrededor de los vasos sanguíneos, los nervios y en torno a las articulaciones

FUNCIONES: amortiguación de los órganos; apoyo a la vez que permite el movimiento independiente; las células fagocíticas ofrecen defensa contra los patógenos



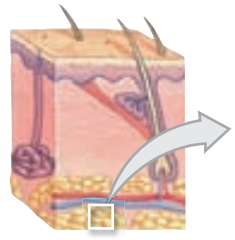


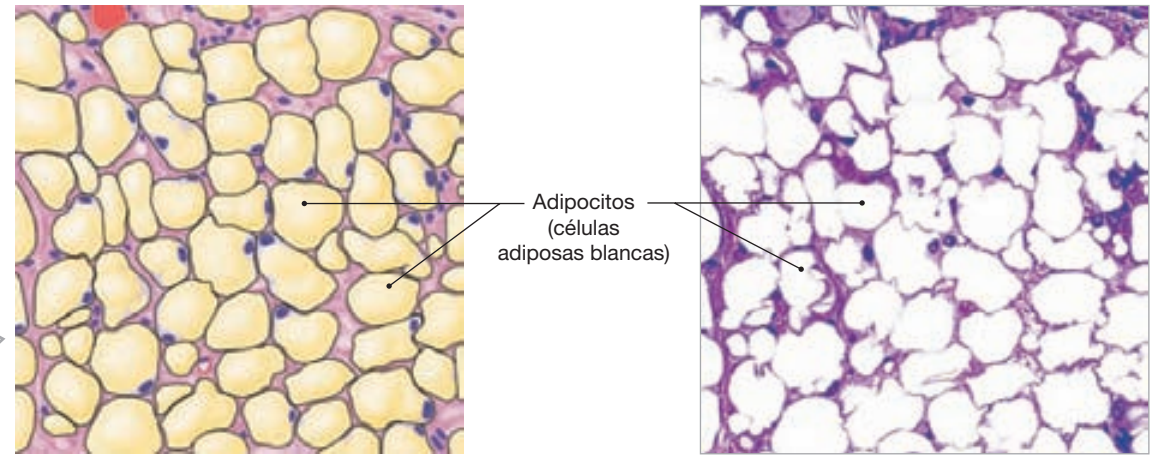
(a) Tejido areolar MO × 380

TEJIDO ADIPOSO

DISTRIBUCIÓN: profundo a la piel, sobre todo en los flancos, las nalgas y las mamas; relleno alrededor de los ojos y los riñones

FUNCIONES: almohadillado y amortiguación de los golpes; aislamiento (reducción de la pérdida de calor); almacenamiento de energía



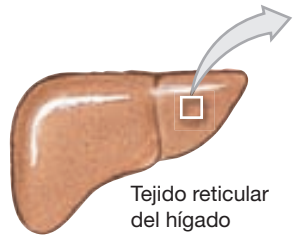


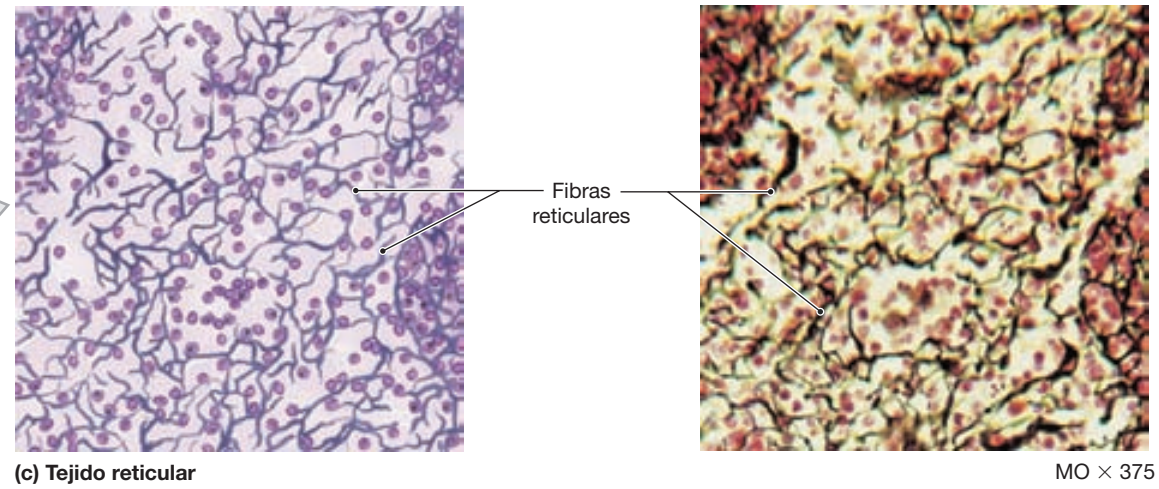
(b) Tejido adiposo MO × 133

TEJIDO RETICULAR

DISTRIBUCIÓN: hígado, riñón, bazo, ganglios linfáticos y médula ósea

FUNCIONES: estructura de sostén





(c) Tejido reticular MO × 375

Figura 3.14 Histología de los tejidos conjuntivos laxos
Este es el «material de embalaje» del cuerpo, que rellena los espacios que quedan entre otras estructuras. **(a)** Tejido areolar. Obsérvese su estructura espaciosa; en el tejido areolar están todas las células del tejido conjuntivo propiamente dicho. **(b)** Tejido adiposo. El tejido adiposo es un tejido conjuntivo laxo en el que predominan los adipocitos. En las imágenes histológicas habituales, las células parecen vacías porque sus inclusiones lipídicas se disuelven durante la preparación de la pieza. **(c)** Tejido reticular. El tejido reticular consiste en una estructura amplia de fibras reticulares. Estas fibras suelen ser muy difíciles de ver debido a la gran cantidad de células que se organizan a su alrededor.

cualquier tejido conjuntivo propiamente dicho. Presenta una estructura amplia, y la mayor parte de su volumen corresponde a la sustancia fundamental. Este líquido viscoso amortigua los golpes y, como la disposición de sus fibras es holgada, puede deformarse sin sufrir ningún daño. La presencia de fibras elásticas lo vuelve bastante resistente y flexible, por lo que el tejido recupera su forma inicial tras liberarse de una presión externa.

El tejido areolar constituye una capa que separa la piel de las estructuras más profundas. Además de ofrecer un buen almohadillado, las propiedades elásticas de esta capa permiten un grado considerable de movimiento independiente. Por tanto, al pellizcar la piel del brazo, esta acción no repercute sobre el músculo que queda debajo. A la inversa, la contracción de los músculos subyacentes tampoco tira de la piel: cuando el músculo se abomba, el tejido areolar se despliega. Como su interior recibe un amplio riego sanguíneo, el torrente circulatorio absorbe con rapidez los fármacos inyectados en la capa de tejido areolar que hay bajo la piel.

Además de repartir el oxígeno y los nutrientes y retirar el dióxido de carbono y los productos de desecho, los capilares del tejido areolar (los vasos sanguíneos más pequeños) conducen y desalojan las células móviles de este tejido. Un epitelio suele cubrir cada estrato de tejido areolar, y los fibrocitos son los responsables de mantener la capa densa de la lámina basal. Las células epiteliales dependen de los procesos de difusión a través de la lámina basal, y los capilares del tejido conjuntivo subyacente aportan el oxígeno y los nutrientes necesarios.

Tejido adiposo [v. figura 3.14b] Los adipocitos están presentes en casi todas las clases de tejido conjuntivo areolar. En algunos puntos, pueden volverse tan abundantes que desaparezca cualquier parecido con el tejido conjuntivo areolar normal. En ese caso, pasa a recibir el nombre de **tejido adiposo.** En el tejido conjuntivo areolar, la mayor parte de su volumen corresponde a líquidos intercelulares y fibras. En el tejido adiposo, una gran proporción consta de adipocitos, agrupados como si fueran uvas muy apiñadas (v. figura 3.14b).

Hay dos tipos de tejido adiposo, conocidos en general como grasa blanca y grasa parda. La **grasa blanca,** que es más frecuente en los adultos, tiene un color pálido amarillo-blanco. Los adipocitos (llamados *células adiposas blancas)* son relativamente inertes. Estas células contienen una gran gotita lipídica única, y por tanto también se les califica como *células adiposas uniloculares (uni,* uno + *locular,* cavidad). La gotita lipídica ocupa la mayor parte del citoplasma y desplaza el núcleo y el resto de orgánulos contra uno de sus lados, por lo que en una preparación histológica la célula se parece a un anillo de graduación. El tejido adiposo blanco almohadilla, amortigua los golpes, actúa como un aislante para frenar la pérdida de calor a través de la piel y sirve de embalaje o relleno alrededor de las estructuras. Su presencia es habitual bajo la piel de la ingle, los flancos, las nalgas y las mamas. También ocupa las cuencas óseas que quedan detrás de los ojos, rodea a los riñones y predomina en amplias zonas correspondientes a tejido conjuntivo laxo en las cavidades pericárdica y abdominal.

La **grasa parda** es más abundante en lactantes y niños que en adultos. Esta sustancia se almacena en las numerosas vacuolas citoplásmicas de las *células adiposas pardas,* que por tanto también reciben el nombre de *células adiposas multiloculares.* El tejido está muy vascularizado, y cada célula contiene numerosas mitocondrias, que le conceden un color intenso y brillante, del que procede la expresión grasa parda. La grasa parda posee una gran actividad bioquímica, y es importante en el control térmico de los recién nacidos y los niños pequeños. En la época del parto, los mecanismos reguladores de la temperatura en el bebé no están en pleno funcionamiento. La grasa parda ofrece un medio para elevar la temperatura corporal con rapidez, y se encuentra presente entre las escápulas, alrededor del cuello y tal vez en otros lugares de la parte superior del tronco de los recién nacidos. Las células adiposas pardas reciben la inervación de fibras autónomas simpáticas. La estimulación de estos nervios acelera la lipólisis en la grasa parda. La energía liberada por el catabolismo de los ácidos grasos irradia hacia los tejidos de alrededor en forma de calor. Su acción calienta en poco tiempo la sangre que cruza la grasa parda y sigue después para distribuirse por todo el organismo.

Nota clínica

Liposucción Un método muy promocionado para combatir la obesidad es la liposucción. La **liposucción** es una técnica quirúrgica para la extracción del tejido adiposo no deseado. Este tejido es flexible pero no tan elástico como el areolar y se desgarra con relativa facilidad. En la liposucción, se realiza una pequeña incisión a través de la piel y se introduce una cánula en el tejido adiposo subyacente. A continuación, se procede a su aspiración. Como el tejido adiposo se rompe sin problemas, puede sacarse en trozos que llevan adipocitos, otras células, fibras y sustancia fundamental. La liposucción es la operación de cirugía estética más realizada en EE. UU. y se estiman unas 400.000 intervenciones anuales de este tipo desde 2003.

Esta práctica ha recibido una gran cobertura en la prensa y numerosos anuncios la elogian como sencilla, segura y eficaz. En realidad, no siempre es fácil y puede resultar peligrosa, además de presentar una eficacia limitada. La densidad del tejido adiposo varía de un lugar a otro del cuerpo y de una persona a otra, y su aspiración por una cánula puede crear problemas. Los vasos sanguíneos se estiran y se arrancan, con el riesgo de producir una hemorragia copiosa. Hay que utilizar un anestésico para aliviar el dolor, y la anestesia siempre plantea riesgos, como la inducción de un infarto de miocardio, una embolia pulmonar y las alteraciones del equilibrio hidroelectrolítico, con un resultado mortal. La mortalidad de este procedimiento es de 1 por cada 5.000 casos. Por último, el tejido adiposo puede repararse por sí solo y las poblaciones de adipocitos recuperarse con el tiempo. La única manera de garantizar que la grasa eliminada con la liposucción no volverá nunca es adoptar un estilo de vida que cuente con una alimentación adecuada y el ejercicio suficiente. Con el tiempo, este estilo de vida es capaz de lograr el mismo adelgazamiento, *sin la liposucción,* suprimiendo los gastos y los riesgos quirúrgicos que entraña.

De esta manera, un lactante puede acelerar la generación metabólica de calor en un 100% con gran rapidez. Al aumentar en edad y en tamaño, la temperatura corporal adquiere una mayor estabilidad, por lo que se reduce la importancia de la grasa parda. Así pues, los adultos tienen poca cantidad o incluso nada.

Tejido reticular [v. figura 3.14c] El tejido conjuntivo compuesto de fibras reticulares, macrófagos, fibroblastos y fibrocitos se denomina **tejido reticular** (v. figura 3.14c). Sus fibras forman el estroma del hígado, el bazo, los ganglios linfáticos y la médula ósea. Los macrófagos fijos, los fibroblastos y los fibrocitos del tejido reticular pocas veces son visibles por la aplastante superioridad en número que corresponde a las células parenquimatosas de estos órganos.

Tejidos conjuntivos densos

La mayor parte del volumen de los **tejidos conjuntivos densos** está ocupada por fibras. Estos tejidos muchas veces reciben el nombre de **tejidos colágenos** porque las fibras colágenas son el tipo de fibra dominante. En el cuerpo se observan dos clases de tejido conjuntivo denso: 1) *tejido conjuntivo denso regular,* y 2) *tejido conjuntivo denso irregular.*

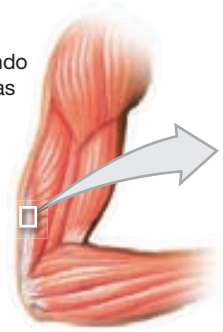
Tejido conjuntivo denso regular [v. figuras 3.7b/3.15a,b] En el tejido conjuntivo denso regular, las fibras están muy apretadas y alineadas según una dirección paralela a las fuerzas aplicadas. Cuatro ejemplos principales de este tipo son los *tendones,* las *aponeurosis,* el *tejido elástico* y los *ligamentos.*

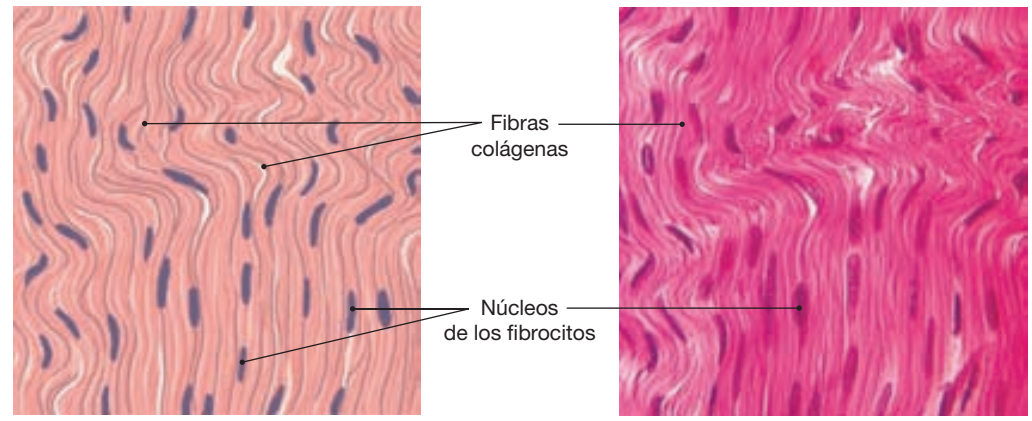
1. Los *tendones* (v. figura 3.15a) son cordones de tejido conjuntivo denso regular que fijan los músculos estriados a los huesos y el cartílago. Las fibras colágenas recorren el eje longitudinal del tendón y transmiten la

TEJIDO CONJUNTIVO DENSO REGULAR

DISTRIBUCIÓN: entre los músculos estriados y el esqueleto (tendones y aponeurosis); entre los huesos o como medio de estabilizar las vísceras en su posición (ligamentos); cubriendo los músculos estriados; fascias profundas

FUNCIONES: fijación firme; transmisión de la tracción muscular; reducción del roce entre los músculos; estabilización de los huesos en sus posiciones relativas



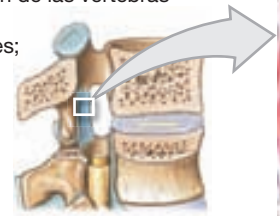


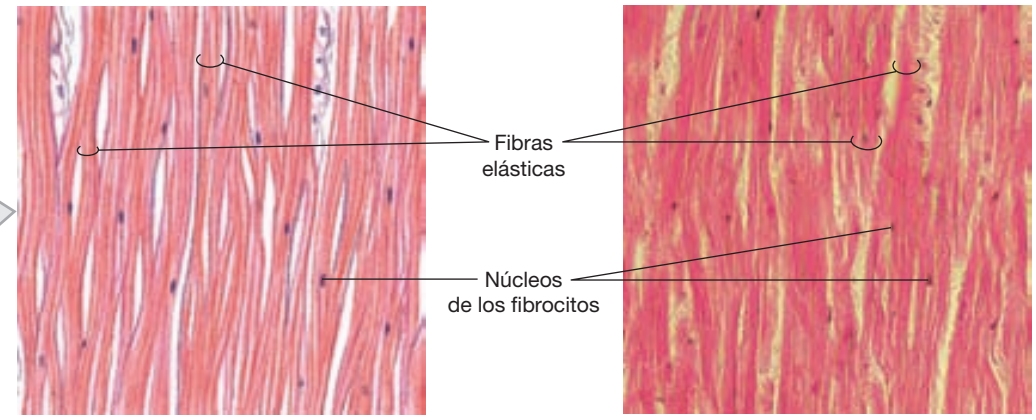
(a) Tendón MO × 440

TEJIDO ELÁSTICO

DISTRIBUCIÓN: entre las vértebras de la columna vertebral (ligamento amarillo y ligamento nucal); ligamentos que sostienen el pene; ligamentos que sostienen los epitelios de transición; en las paredes de los vasos sanguíneos

FUNCIONES: estabilización de las vértebras y el pene en su posición; amortiguación de los golpes; posibilidad de que los órganos se dilaten y contraigan



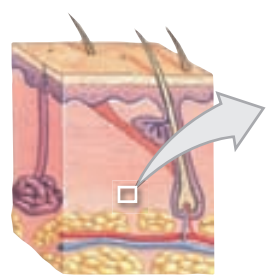


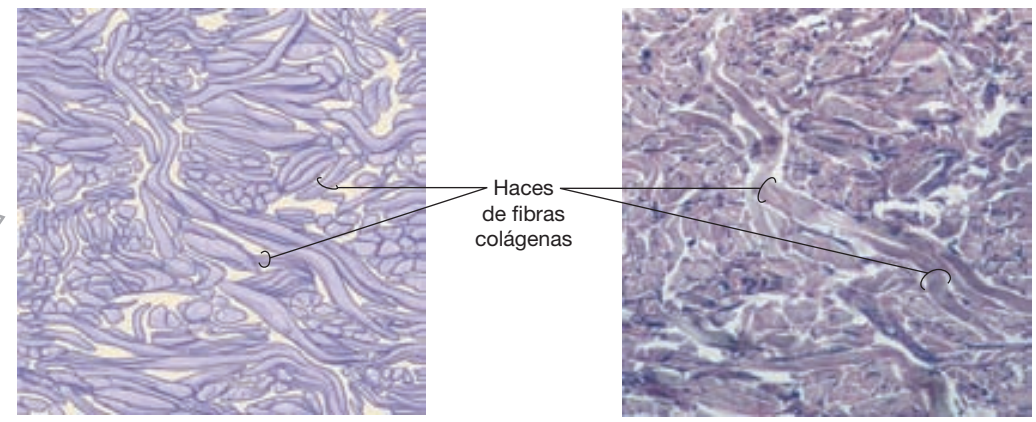
(b) Ligamento elástico MO × 887

TEJIDO CONJUNTIVO DENSO IRREGULAR

DISTRIBUCIÓN: cápsulas de las vísceras; periostios y pericondrios; vainas nerviosas y musculares; dermis

FUNCIONES: resistencia para oponerse contra fuerzas aplicadas en múltiples direcciones; medio para impedir la hiperdilatación de órganos tales como la vejiga urinaria





(c) Dermis profunda MO × 111

Figura 3.15 Histología del tejido conjuntivo denso
(a) Tejido conjuntivo denso regular: tendón. El tejido conjuntivo denso regular de un tendón consta de unos haces paralelos de fibras colágenas muy apretados. Los núcleos de los fibrocitos pueden observarse aplanados entre estos haces. La mayoría de los ligamentos se parecen a los tendones en cuanto a su organización histológica. **(b)** Tejido conjuntivo denso regular: ligamento elástico. Los ligamentos elásticos saltan entre las vértebras de la columna vertebral. Los haces de fibras elásticas son más gruesos que los de fibras colágenas de un tendón o de un ligamento característico. **(c)** Tejido conjuntivo denso irregular. La porción profunda de la dermis cutánea consta de una capa gruesa de fibras colágenas entretejidas, que están orientadas en diversas direcciones.

tracción desde el músculo en contracción hasta el hueso o el cartílago. Entre las fibras colágenas hay un gran número de fibrocitos.

2. Las *aponeurosis* son láminas o cintas de colágeno que parecen tendones anchos y planos. Pueden cubrir la superficie de un músculo y contribuir a sujetar los más superficiales a otros músculos o estructuras.
3. El *tejido elástico* contiene gran cantidad de fibras elásticas. Al superar en número a las fibras colágenas, adquiere una naturaleza resistente y flexible. Esta capacidad de estirarse y recuperarse le permite tolerar ciclos de dilatación y contracción. El tejido elástico suele estar bajo los epitelios de transición (v. figura 3.7b, p. 58); también está presente en las paredes de los vasos sanguíneos y alrededor de las vías de conducción respiratorias.
4. Los *ligamentos* se parecen a los tendones, pero normalmente conectan un hueso a otro. A menudo contienen una cantidad considerable de fibras elásticas, así como de fibras colágenas, y son capaces de tolerar un grado de estiramiento moderado. En los ligamentos elásticos hay una proporción aún mayor de fibras elásticas, que guardan un parecido con las cintas de goma duras. Aunque sean raros en otros lugares, los ligamentos elásticos de la columna vertebral revisten una gran importancia para estabilizar la posición de las vértebras (v. figura 3.15b).

Tejido conjuntivo denso irregular [v. figura 3.15c] Las fibras del **tejido conjuntivo denso irregular** constituyen una malla entretejida y no manifiestan ningún patrón uniforme (v. figura 3.15c). Este tejido aporta resistencia y sostén a las zonas sometidas a una sobrecarga que actúe en múltiples direcciones. Una capa de tejido conjuntivo denso irregular, la *dermis,* otorga su resistencia a la piel; un fragmento de cuero (la dermis cutánea en los animales) ofrece una ilustración excelente sobre la naturaleza entrelazada de este tejido. Salvo en las articulaciones, el tejido conjuntivo denso irregular forma una vaina en torno al cartílago (el pericondrio) y el hueso (el periostio). También constituye la gruesa **cápsula** fibrosa que rodea a los órganos internos, como el hígado, los riñones y el bazo, y encierra las cavidades articulares.

Tejidos conjuntivos líquidos [v. figura 3.16]

La *sangre* y la *linfa* son tejidos conjuntivos que contienen grupos característicos de células dentro de una matriz líquida. La matriz acuosa de ambas lleva células y muchos tipos de proteínas en suspensión, que en condiciones normales no forman fibras insolubles.

La **sangre** contiene células sanguíneas y fragmentos que en conjunto reciben el nombre de *elementos formes* (v. figura 3.16). Existen tres tipos de elementos formes: 1) glóbulos rojos; 2) glóbulos blancos, y 3) plaquetas. Uno solo de ellos, el **glóbulo rojo** o **eritrocito** (*erythros,* rojo) representa casi la mitad del volumen sanguíneo. Los glóbulos rojos son los responsables de transportar el oxígeno por la sangre y, en menor grado, el dióxido de carbono. La matriz acuosa de la sangre, denominada **plasma,** también contiene pequeñas cantidades de **glóbulos blancos,** o **leucocitos** (*leukos,* blanco). Los glóbulos blancos comprenden los *neutrófilos,* los *eosinófilos,* los *basófilos,* los *linfocitos* y los *monocitos.* Se trata de un componente importante del sistema inmunitario, que protege al organismo contra las infecciones y las enfermedades. Por último, unos minúsculos contenedores de citoplasma rodeados por una membrana y llamados **plaquetas** llevan enzimas y ciertas proteínas especiales. Su misión es actuar en la respuesta de la coagulación, encargada de cerrar herméticamente las roturas producidas en la pared vascular.

El líquido extracelular abarca tres subdivisiones principales: *plasma, líquido intersticial* y *linfa.* El *plasma* normalmente está encerrado en los vasos del aparato circulatorio y las contracciones del corazón lo mantienen en movimiento. Las **arterias** son los vasos que alejan la sangre del corazón hacia otros vasos finos de pared delgada denominados **capilares.** Las **venas** son vasos que desaguan los capilares y devuelven la sangre hacia el corazón, lo que completa el recorrido de su circuito. En los tejidos, la filtración saca el agua y los pequeños solutos de los capilares hacia el líquido intersticial que baña las células del organismo. La principal diferencia entre el plasma y el líquido intersticial es que el primero contiene una gran cantidad de proteínas en suspensión.

La **linfa** se forma igual que el líquido intersticial y a continuación penetra en los **vasos linfáticos,** pequeñas vías de conducción que la reintegran hacia el aparato cardiovascular. Por el trayecto, las células del sistema inmunitario vigilan su composición y responden ante cualquier signo de lesión o de infección. El número de células que hay en su interior puede variar, pero corrientemente el 99% son linfocitos. El resto corresponde primordialmente a macrófagos fagocíticos, eosinófilos y neutrófilos.

Tejidos conjuntivos de sostén

El cartílago y el hueso se denominan **tejidos conjuntivos de sostén** porque proporcionan un armazón sólido que soporta el resto del cuerpo. En estos tejidos, la matriz contiene numerosas fibras y, en algunos casos, depósitos de sales cálcicas insolubles.

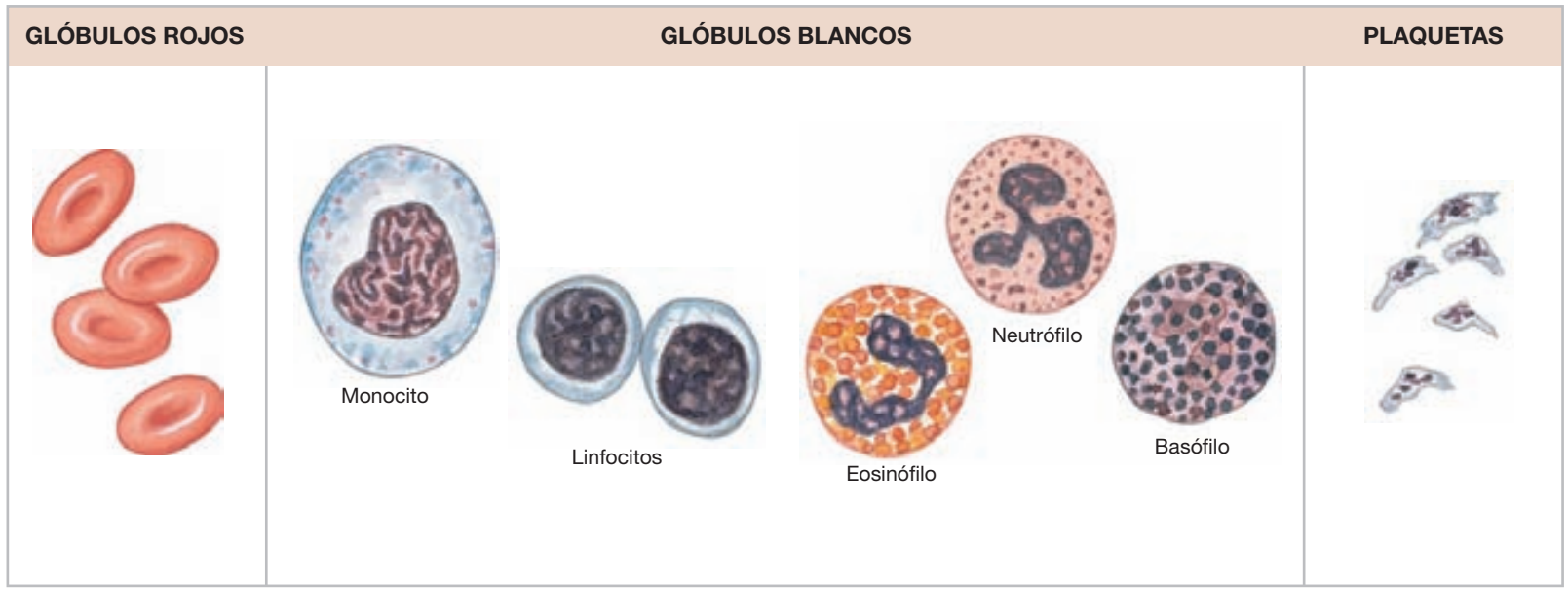


Figura 3.16 **Elementos formes de la sangre**

Cartílago [v. figura 3.17]

La matriz del **cartílago** es un gel de naturaleza firme que contiene polisacáridos complejos llamados **sulfatos de condroitina** (*chondros,* cartílago). Los sulfatos de condroitina forman compuestos con proteínas, para constituir proteoglucanos. Las células cartilaginosas, o **condrocitos,** son las únicas que están presentes en la matriz del cartílago. Estas células viven en pequeñas cavidades denominadas **lagunas** (*lacus,* lago). Las propiedades físicas del cartílago dependen del carácter de su matriz. Las fibras colágenas proporcionan resistencia a la tensión, y la combinación entre las características de las fibras extracelulares y de la sustancia fundamental le otorga flexibilidad y elasticidad.

El cartílago es avascular porque los condrocitos producen una sustancia química que impide la formación de vasos sanguíneos. El intercambio de nutrientes y productos de desecho ha de ocurrir por difusión a través de la matriz. El cartílago suele quedar separado de los tejidos que lo rodean por un **pericondrio** fibroso (*peri,* alrededor) (v. figura 3.17a). El pericondrio contiene dos capas: una externa, la *capa fibrosa* de tejido conjuntivo denso irregular, y otra interna, la *capa celular.* La primera proporciona apoyo mecánico y protección, además de fijar el cartílago a otras estructuras. La capa celular es importante para su crecimiento y su conservación.

El cartílago crece por dos mecanismos (v. figura 3.17b,c). En el **crecimiento por aposición,** las células progenitoras de la capa interna del pericondrio sufren ciclos repetidos de división. Las más profundas se diferencian en condroblastos, que comienzan a producir la matriz del cartílago. Después de quedar rodeados del todo por su propia matriz, los condroblastos se transforman en condrocitos. Este mecanismo de crecimiento aumenta las dimensiones del cartílago poco a poco mediante la agregación del material recién formado a su superficie. Además, los condrocitos de la matriz cartilaginosa pueden experimentar nuevas divisiones, y sus células hijas elaboran más matriz. Este ciclo expande el cartílago desde su interior, algo muy parecido a lo que sucede al inflar un globo; el proceso se denomina **crecimiento intersticial.** Ni el crecimiento por aposición ni el crecimiento intersticial suceden en los cartílagos adultos y la mayor parte no pueden repararse por sí solos tras sufrir una lesión grave.

Nota clínica

Cartílagos y lesiones de rodilla La rodilla es una articulación extremadamente compleja, que contiene cartílago hialino y cartílago fibroso. El cartílago hialino corona las superficies óseas, mientras que las almohadillas de cartílago fibroso situadas en el interior de la cavidad impiden el contacto entre los huesos durante la realización de un movimiento. Muchos traumatismos deportivos conllevan un desgarro en estas almohadillas de cartílago fibroso o en los ligamentos de sostén; la desaparición de su refuerzo y su amortiguación aplica una mayor presión sobre los cartílagos hialinos en el interior de las articulaciones, lo que acentúa acentúa la lesión articular.

Los cartílagos articulares no sólo son avasculares, sino que también carecen de pericondrio. Por consiguiente, cicatrizan todavía con mayor lentitud que los demás cartílagos. La cirugía normalmente sólo produce una reparación temporal o incompleta. Por esta razón, las reglas de la mayoría de los deportes de competición están concebidas para reducir el número de lesiones de rodilla. Por ejemplo, el fútbol americano prohíbe el «recorte» porque genera sobrecargas que pueden romper sus cartílagos fibrosos y sus ligamentos de sostén.

Los últimos adelantos en el cultivo de tejidos han permitido a los investigadores obtener cartílago fibroso en el laboratorio. Los condrocitos extraídos de las rodillas de los pacientes afectados se cultivan en una estructura artificial de fibras colágenas. Con el tiempo, estas células originan masas de cartílago fibroso que pueden introducirse en las articulaciones alteradas. Más adelante, las almohadillas cambian de forma y crecen, para restablecer el funcionamiento normal de la articulación. Esta técnica tan laboriosa y exigente se ha empleado para tratar lesiones articulares graves, sobre todo en los deportistas.

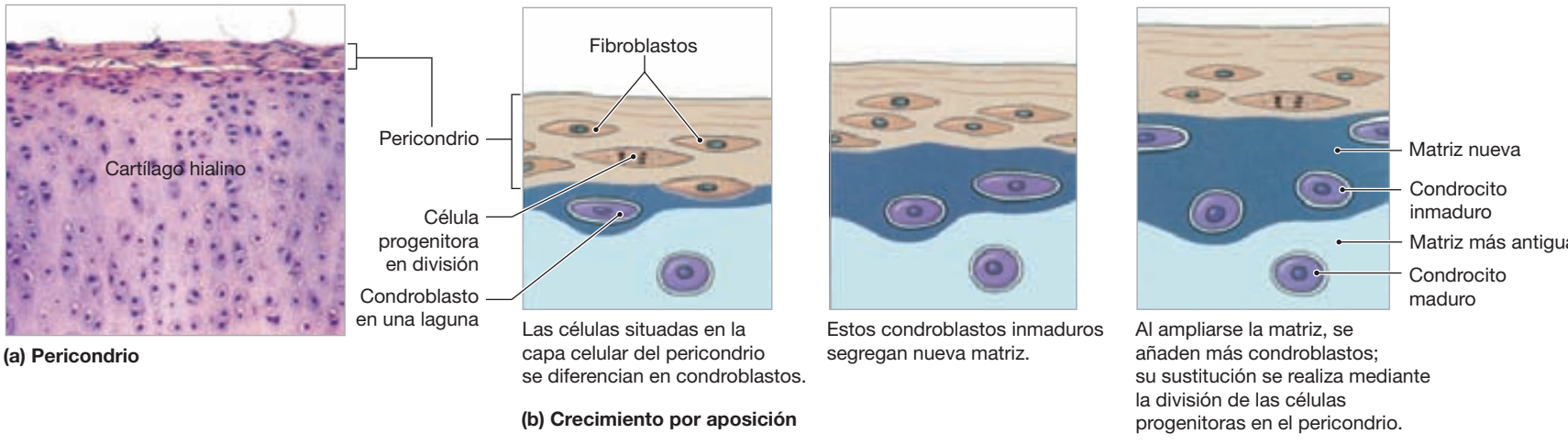
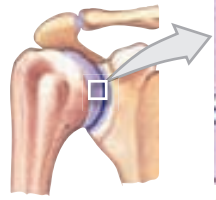

Cartílago hialino
Pericondrio
Célula progenitora en división
Condroblasto en una laguna
Fibroblastos
Las células situadas en la capa celular del pericondrio se diferencian en condroblastos.
(a) Pericondrio
(b) Crecimiento por aposición
Estos condroblastos inmaduros segregan nueva matriz.
Matriz nueva
Condrocito inmaduro
Matriz más antigua
Condrocito maduro
Al ampliarse la matriz, se añaden más condroblastos; su sustitución se realiza mediante la división de las células progenitoras en el pericondrio.
Matriz
Condrocito
Laguna
El condrocito sufre una división dentro de una laguna rodeada de matriz cartilaginosa.
(c) Crecimiento intersticial
Matriz nueva
A medida que las células hijas segregan más matriz, se distancian, lo que dilata el cartílago desde su interior.

Figura 3.17 Formación y crecimiento del cartílago
(a) Esta microfotografía óptica muestra la organización de un pequeño fragmento de cartílago hialino y el pericondrio que lo rodea.
(b) Crecimiento por aposición. El cartílago crece desde su superficie externa mediante la diferenciación de los fibroblastos en condrocitos dentro de la capa celular del pericondrio.
(c) Crecimiento intersticial. El cartílago se dilata desde su interior cuando los condrocitos de la matriz se dividen, crecen y producen nueva matriz.

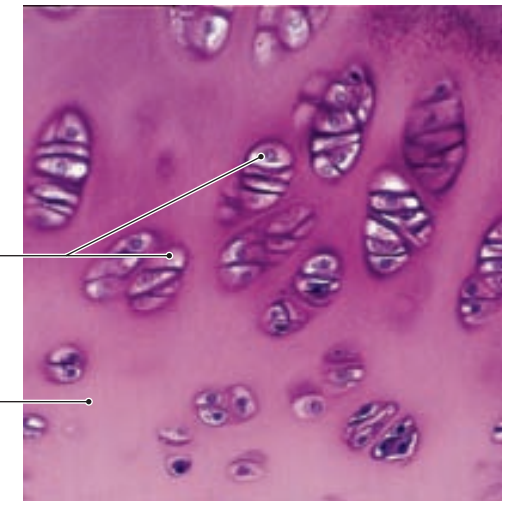
CARTÍLAGO HIALINO

DISTRIBUCIÓN: entre la punta de las costillas y el hueso del esternón; cubriendo las superficies óseas en las articulaciones sinoviales; sosteniendo la laringe (glotis), la tráquea y los bronquios; formando parte del tabique nasal

FUNCIONES: sostén duro pero algo flexible; disminución del roce entre las superficies óseas



(a) Cartílago hialino

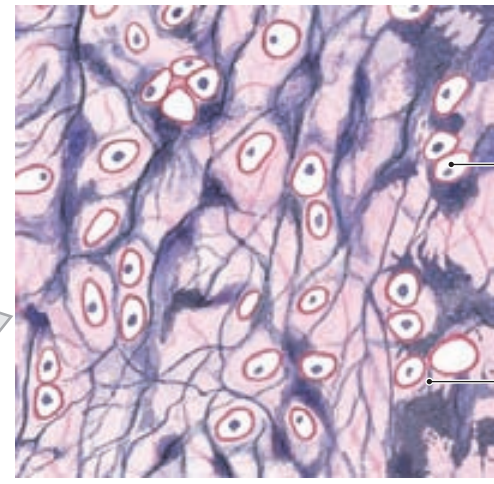


MO × 500

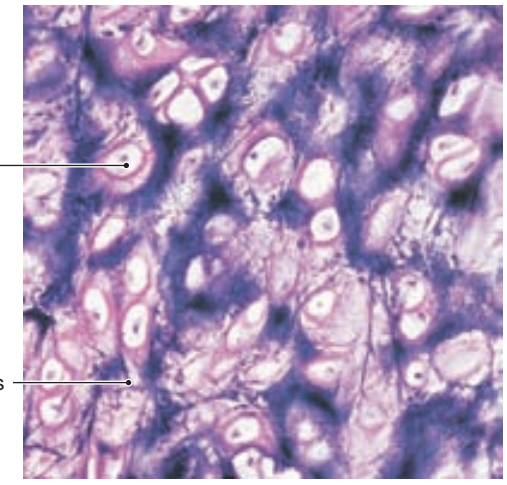
CARTÍLAGO ELÁSTICO

DISTRIBUCIÓN: pabellón auricular; epiglotis; conducto auditivo; cartílagos cuneiformes de la laringe

FUNCIONES: sostén, pero tolerando la deformación sin lesión y permitiendo la recuperación de la forma primitiva



(b) Cartílago elástico

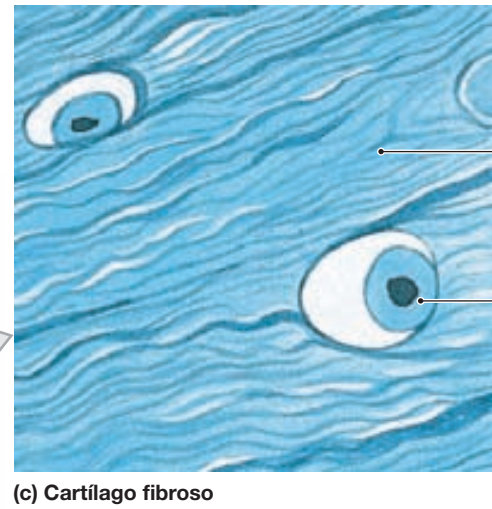


MO × 358

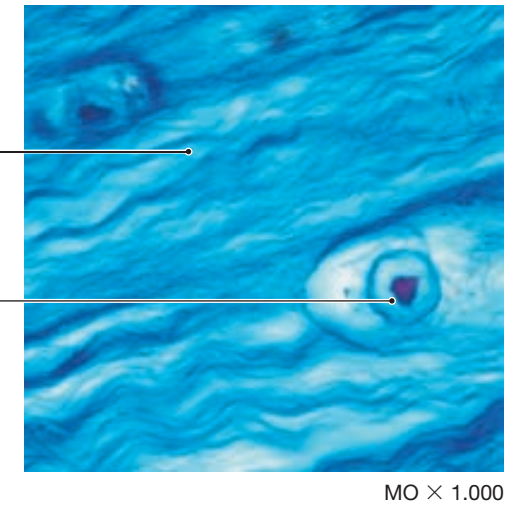
CARTÍLAGO FIBROSO

DISTRIBUCIÓN: almohadillas en el interior de la articulación de la rodilla; entre los huesos del pubis en la pelvis; discos intervertebrales

FUNCIONES: resistencia a la compresión; prevención del contacto entre los huesos; limitación del movimiento relativo



(c) Cartílago fibroso



MO × 1.000

Figura 3.18 Histología de los tres tipos de cartílago

El cartílago es un tejido conjuntivo de sostén que tiene una matriz gelatinosa firme. **(a)** Cartílago hialino. Obsérvese la matriz translúcida y la ausencia de fibras llamativas. **(b)** Cartílago elástico. Las fibras elásticas muy apretadas son visibles entre los condrocitos. **(c)** Cartílago fibroso. Las fibras colágenas son sumamente densas, y los condrocitos están relativamente apartados entre sí.

Tipos de cartílago [v. figura 3.18] Hay tres tipos principales de cartílago: 1) *cartílago hialino;* 2) *cartílago elástico,* y 3) *cartílago fibroso.*

1. El **cartílago hialino** (*hyalos,* vidrio) es la clase más frecuente que existe. Su matriz contiene fibras colágenas muy apretadas. A pesar de ser duro y algo flexible, se trata del tipo más débil de cartílago. Como las fibras colágenas de la matriz no se tiñen bien, no siempre resultan evidentes al microscopio óptico (**v. figura 3.18a**). En el organismo adulto pueden citarse los siguientes ejemplos de este tipo de cartílago: 1) la conexión entre las costillas y el esternón; 2) los cartílagos de sostén situados a lo largo de los tubos de conducción de las vías respiratorias, y 3) los *cartílagos articulares* que recubren las superficies óseas enfrentadas dentro de las articulaciones sinoviales, como el codo o la rodilla.
2. El **cartílago elástico** posee numerosas fibras elásticas que lo vuelven sumamente resistente y flexible. Entre otras estructuras, forma la parte externa *(oreja* o *pabellón auricular)* del oído externo (**v. figura 3.18b**), la epiglotis, la vía aérea que llega hasta el oído medio *(trompa auditiva)* y los pequeños cartílagos *(cuneiformes)* de la laringe. Aunque los cartílagos de la punta de la nariz son muy flexibles, hay discusiones acerca de si debería clasificárselos como cartílagos elásticos «auténticos» debido a que sus fibras elásticas no son tan abundantes como en la oreja o en la epiglotis.
3. El **cartílago fibroso,** o *fibrocartílago,* presenta poca sustancia fundamental, pero carece de pericondrio, y en la matriz predominan las fibras colágenas (**v. figura 3.18c**). Las almohadillas fibrocartilaginosas se hallan en zonas de gran carga, como sucede entre las vértebras de la columna, entre los huesos del pubis en la pelvis y alrededor de unas cuantas articulaciones y tendones o en su interior. En estos lugares, su presencia resiste la compresión, absorbe los impactos e impide cualquier lesión por contacto entre los huesos. Las fibras colágenas contenidas en el cartílago fibroso siguen las líneas de fuerza con las que se tropieza en ese punto concreto y, por tanto, adquieren una disposición más regular que las del cartílago hialino o elástico. Los cartílagos cicatrizan con lentitud y mal, y la alteración de un cartílago fibroso en una articulación puede interferir los movimientos normales.

Hueso [v. figura 3.19 y tabla 3.2]

Como la histología del **hueso,** o *tejido óseo* (*os,* hueso), se estudiará con detalle en el capítulo 5, esta exposición se concentrará en las considerables divergencias que lo separan del cartílago. La tabla 3.2 resume las semejanzas y diferencias entre el cartílago y el hueso. Más o menos la tercera parte de la matriz ósea consta de fibras colágenas. El balance resultante es una mezcla de sales de calcio, principalmente fosfato cálcico con menores cantidades de carbonato cálcico. Esta combinación dota al hueso de unas propiedades realmente notables. En sí mismas, las sales de calcio son fuertes pero bastante quebradizas. Las fibras colágenas son más débiles, pero relativamente flexibles. En el hueso, los minerales quedan organizados alrededor de las fibras colágenas. El producto final es una mezcla fuerte y algo flexible, que resulta muy resistente a la destrucción. Por sus características globales, el hueso es capaz de competir frente al mejor cemento reforzado con acero.

La organización general del tejido óseo puede observarse en la **figura 3.19**. Las *lagunas* situadas en el interior de la matriz contienen células óseas, u **osteocitos.** Muchas veces estas lagunas están dispuestas alrededor de vasos sanguíneos que dan ramificaciones a lo largo de la matriz ósea. Aunque la difusión no

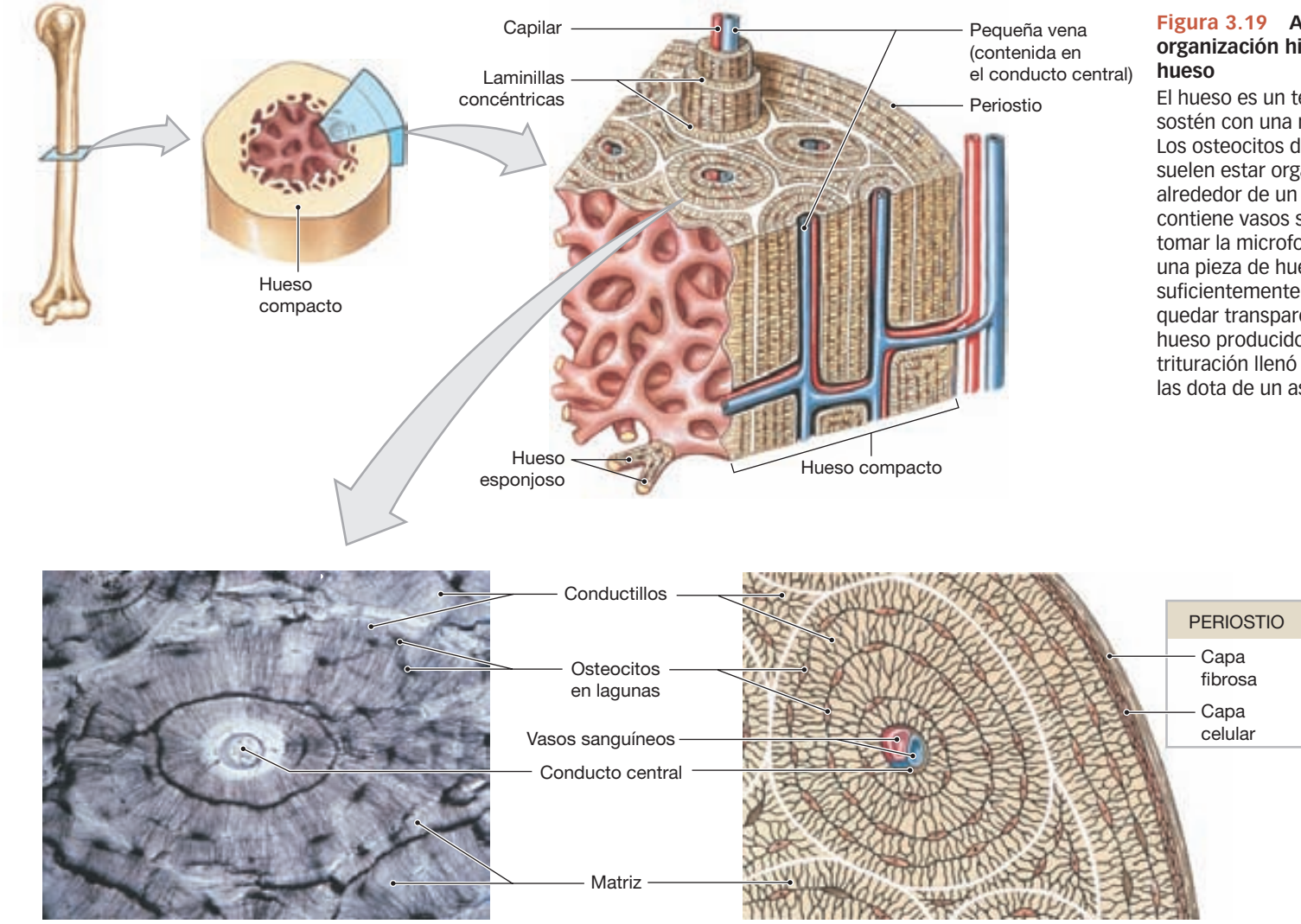


Figura 3.19 Anatomía y organización histológica del hueso
El hueso es un tejido conjuntivo de sostén con una matriz solidificada. Los osteocitos del hueso compacto suelen estar organizados en grupos alrededor de un espacio central que contiene vasos sanguíneos. Para tomar la microfotografía, se molió una pieza de hueso lo suficientemente fina como para quedar transparente. El polvo de hueso producido durante su trituración llenó las lagunas, lo que las dota de un aspecto oscuro.

TABLA 3.2 Comparación entre el cartílago y el hueso

Característica	Cartílago	Hueso
RASGOS ESTRUCTURALES		
Células	Condrocitos en lagunas	Osteocitos en lagunas
Matriz	Sulfatos de condroitina con proteínas, que forman proteoglucanos hidratados	Cristales insolubles de fosfato cálcico y carbonato cálcico
Fibras	Fibras colágenas, elásticas, reticulares (en proporciones variables)	Predominio de fibras colágenas
Vascularización	Ninguna	Amplia
Recubrimiento	Pericondrio, dos capas	Periostio, dos capas
Resistencia	Escasa: se dobla con facilidad pero cuesta romperlo	Intensa: se opone a su deformación hasta llegar a su límite de rotura
Crecimiento	Intersticial y por aposición	Sólo por aposición
Propiedades de reparación	Capacidad reducida	Capacidad amplia
Necesidades de oxígeno	Bajas	Altas
Distribución de nutrientes	Por difusión a través de la matriz	Por difusión a través del citoplasma y los líquidos en los conductillos

pueda producirse a través de las sales cálcicas, los osteocitos se comunican con los vasos sanguíneos y entre ellos por medio de finas prolongaciones citoplásmicas. Estas estructuras se extienden recorriendo largos pasillos estrechos en la matriz. Dichas vías, llamadas **conductillos** («pequeños conductos») forman una red ramificada que sirve para el intercambio de sustancias entre los vasos sanguíneos y los osteocitos. Hay dos tipos de hueso: el *hueso compacto,* que presenta vasos sanguíneos encerrados en el interior de la matriz, y el *hueso esponjoso,* que no los tiene.

Casi todas las superficies óseas están revestidas por un **periostio** compuesto por una capa externa fibrosa y una capa interna celular. Tan sólo queda incompleto en las articulaciones, donde se unen los huesos entre sí. El periostio permite sujetar un hueso a los tejidos que lo rodean y a sus tendones y ligamentos asociados. La capa celular actúa en el crecimiento óseo y participa en su reparación tras sufrir una lesión. A diferencia del cartílago, el hueso experimenta una amplia remodelación con regularidad y es capaz de completar su reparación íntegra incluso después de una grave lesión. Los huesos también responden a las sobrecargas realizadas sobre ellos, y crecen más gruesos y robustos en condiciones de ejercicio, y más delgados y frágiles en condiciones de inactividad.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique los tres componentes básicos de todos los tejidos conjuntivos.
2. ¿Cuál es la diferencia principal entre el tejido conjuntivo propiamente dicho y el tejido conjuntivo de sostén?
3. ¿Cuáles son las dos clases generales de células que hay en el tejido conjuntivo propiamente dicho? ¿Qué células pertenecen a cada una?
4. La carencia de vitamina C en la alimentación interfiere la capacidad de los fibroblastos para producir colágeno. ¿Qué efecto podría tener sobre el tejido conjuntivo esta reducción en la propiedad de generar colágeno?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Membranas

Los epitelios y los tejidos conjuntivos se reúnen para formar **membranas.** Cada membrana consta de una lámina epitelial y de una capa subyacente de tejido conjuntivo. Las membranas poseen la función de cubrir y proteger otras estructuras y tejidos presentes en el cuerpo. Existen cuatro tipos de membranas cuyo cometido se detalla en los siguientes apartados: 1) *membranas mucosas;* 2) *membranas serosas;* 3) la *membrana cutánea (piel),* y 4) las *membranas sinoviales.*

Mucosas [v. figura 3.20a]

Las **mucosas,** o membranas mucosas, tapizan las vías de conducción que comunican con el exterior del organismo, como el tubo digestivo y las vías respiratorias, genitales y urinarias (**v. figura 3.20a**). Estas estructuras forman una barrera que se opone a la entrada de los patógenos. Las superficies epiteliales se mantienen húmedas todo el tiempo; pueden lubricarse bien con moco o con otras secreciones glandulares, o bien mediante su exposición a líquidos como la orina o el semen. El ingrediente de una mucosa correspondiente al tejido areolar se denomina **lámina propia.** La lámina propia constituye un puente de conexión entre el epitelio y las estructuras subyacentes. Esta lámina también proporciona soporte a los vasos sanguíneos y los nervios que se encargan del epitelio. Analizaremos con mayor detalle la organización de cada mucosa específica en los capítulos posteriores.

Muchas mucosas están revestidas por epitelios simples que cumplen funciones de absorción y de secreción. Un ejemplo sería el epitelio cilíndrico simple del tubo digestivo. Sin embargo, también pueden participar otras clases de epitelios. Por ejemplo, la mucosa de la boca contiene un epitelio pavimentoso estratificado y la que recorre la mayor parte de las vías urinarias presenta un epitelio de transición.

Serosas [v. figura 3.20b]

Las **serosas,** o membranas serosas, tapizan las distintas subdivisiones de la cavidad corporal ventral. Existen tres serosas, que están compuestas por un mesotelio [p. 55] apoyado sobre un tejido conjuntivo areolar provisto de abundantes vasos sanguíneos y linfáticos (**v. figura 3.20b**). Estas membranas se presentaron en el capítulo 1:

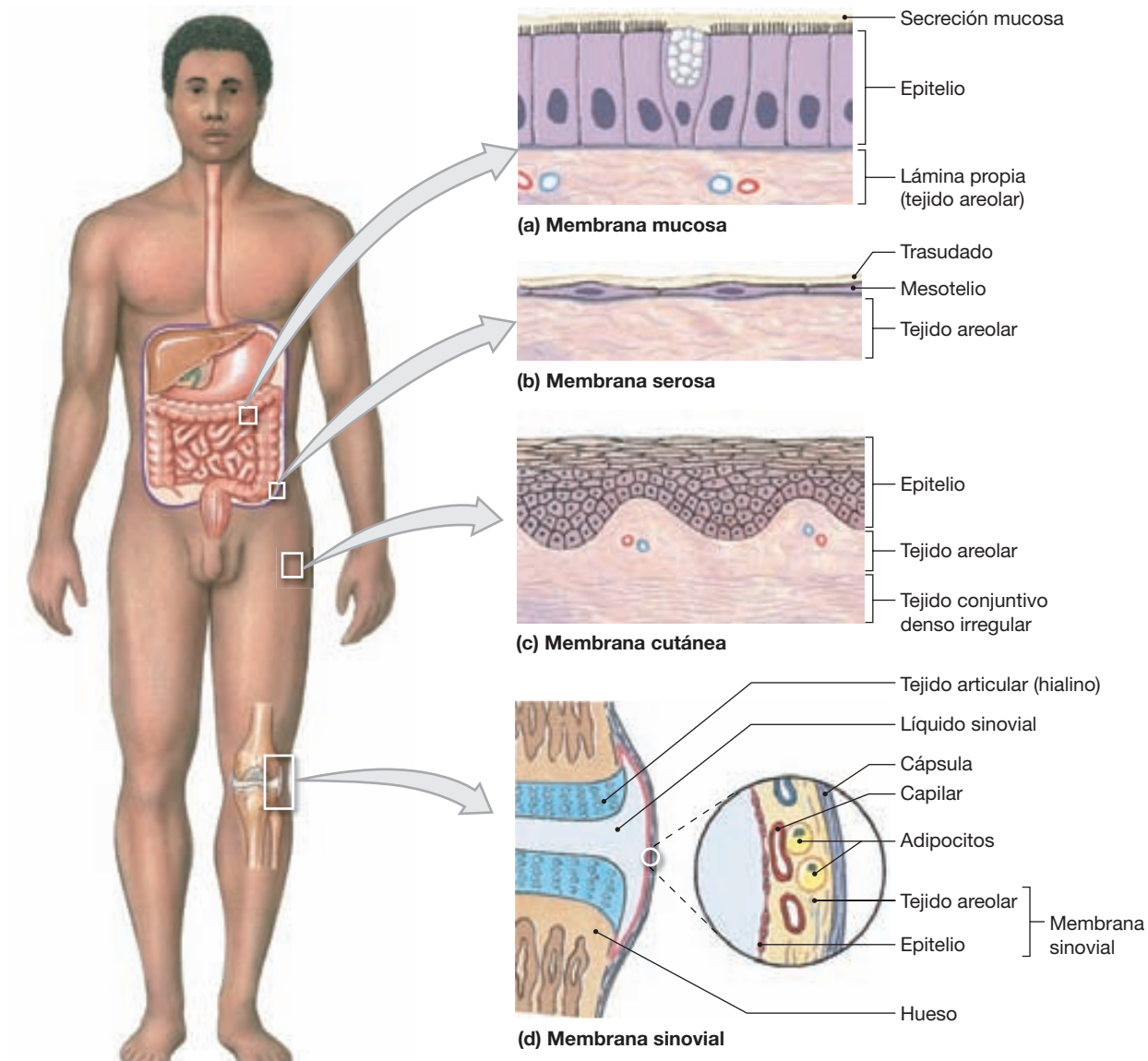
1. La *pleura* reviste las cavidades pleurales y cubre los pulmones.
2. El *peritoneo* reviste la cavidad peritoneal y cubre la superficie de los órganos que quedan en su interior.
3. El *pericardio* reviste la cavidad pericárdica y recubre al corazón [p. 18].

Las serosas son muy delgadas, y están sujetas con firmeza a la pared corporal y a los órganos que envuelven. Al mirar un órgano, como el corazón o el estómago, en realidad lo que se ve son sus tejidos a través de una serosa transparente.

Las porciones parietal y visceral de una serosa se encuentran en íntimo contacto permanente. La reducción al mínimo del roce entre estas superficies opuestas es su función principal. Como los mesotelios son muy finos, las serosas resultan relativamente permeables, y los líquidos de los tejidos difunden a través de la superficie que dejan al descubierto, lo que las mantiene húmedas y resbaladizas.

El líquido formado sobre las superficies de una serosa se denomina **trasudado** (*trans-,* a través). En concreto, recibe el nombre de *líquido pleural, líquido peritoneal* o *líquido pericárdico,* según su origen. En las personas sanas normales, el volumen total del trasudado que hay en cualquier momento dado es pequeñísimo, sólo el justo para evitar el roce entre las paredes de las cavidades y las superficies de las vísceras. Sin embargo, tras sufrir una lesión o en determinados estados patológicos, su cantidad puede crecer tremendamente, lo que agrava los problemas médicos existentes o produce otros nuevos.

Figura 3.20 Membranas
Las membranas están compuestas de epitelios y tejidos conjuntivos, y sirven para cubrir y proteger otros tejidos y estructuras. **(a)** Las mucosas están bañadas por las secreciones de las glándulas mucosas. Revisten la mayor parte del tubo digestivo y las vías respiratorias, así como varias porciones de las vías urinarias y genitales. **(b)** Las serosas revisten las cavidades corporales ventrales (cavidades peritoneal, pleural y pericárdica). **(c)** La membrana cutánea, o piel, cubre la superficie externa del cuerpo. **(d)** Las membranas sinoviales revisten las cavidades articulares y producen el líquido que hay en el interior de una articulación.



Nota clínica

Problemas con las serosas Varias situaciones clínicas, como las infecciones o las inflamaciones crónicas, pueden provocar la acumulación anormal de líquido en una cavidad corporal. Otros procesos son capaces de reducir el grado de lubricación, lo que genera un roce entre las capas enfrentadas de las serosas. Esto crea unas condiciones que favorecen la formación de adherencias: conexiones fibrosas que eliminan el rozamiento al bloquear las membranas unidas. Las adherencias también pueden restringir acusadamente los movimientos del órgano o de los órganos afectados, y comprimir los vasos sanguíneos o los nervios.

La *pleuritis,* o *pleuresía,* es una inflamación de las cavidades pleurales. Al principio, las membranas opuestas se secan y raspan entre sí, lo que emite un sonido conocido como *roce pleural.* Pocas veces se forman adherencias entre estas serosas de las cavidades pleurales. Lo más habitual es que la inflamación y la fricción permanente provoquen un aumento paulatino en la producción de líquido hasta llegar a unos niveles bastante por encima de lo normal. El líquido se acumula en las cavidades pleurales, lo que da lugar a una afección llamada *derrame pleural.* Los derrames pleurales también están ocasionados por trastornos cardíacos que eleven la presión en los vasos sanguíneos pulmonares. En este caso, el líquido se filtra hacia los alvéolos y también hacia los espacios pleurales, lo que comprime los pulmones y complica la respiración. Esta combinación puede resultar mortal.

La *pericarditis* es una inflamación del pericardio. Esta dolencia conduce de forma específica a un *derrame pericárdico,* una acumulación anormal de líquido en la cavidad pericárdica. Si su formación es repentina o intensa, esta situación puede reducir seriamente el rendimiento del corazón y limitar la circulación sanguínea por los vasos principales.

La *peritonitis,* una inflamación del peritoneo, es una circunstancia que puede seguir a la infección o la lesión del revestimiento peritoneal. Se trata de una posible complicación de cualquier intervención quirúrgica en la que se abra la cavidad peritoneal o de una enfermedad que perfore las paredes del intestino o del estómago. Las adherencias son frecuentes tras las infecciones peritoneales y pueden dar lugar al estrechamiento y la obstrucción del tubo digestivo.

Las enfermedades hepáticas, renales o la insuficiencia cardíaca pueden causar una acumulación de líquido en la cavidad peritoneal. Este proceso, denominado *ascitis,* crea una hinchazón abdominal característica. La presión y la deformación de los órganos internos por el exceso de líquido a veces desencadenan síntomas como pirosis, dispepsia, disnea y lumbalgia.

Membrana cutánea [v. figura 3.20c]

La **membrana cutánea,** o piel, cubre la superficie del cuerpo. Esta estructura consta de un epitelio pavimentoso estratificado queratinizado y una capa subyacente de tejido conjuntivo areolar reforzado por otra capa de tejido conjuntivo denso (**v. figura 3.20c**). Al revés que las mucosas o las serosas, la membrana cutánea es gruesa, relativamente impermeable y suele estar seca. (La piel se explica con detalle en el capítulo 4.)

Membranas sinoviales [v. figura 3.20d]

Una **membrana sinovial** consta de amplias zonas de tejido areolar delimitadas por una capa superficial incompleta de células pavimentosas o cúbicas (**v. figura 3.20d**). Los huesos entran en contacto en las *articulaciones,* que cuando permiten un movimiento considerable, están rodeadas por una cápsula fibrosa y contienen una cavidad articular tapizada por una membrana sinovial. Aunque suela calificársela de epitelio, el revestimiento de la membrana sinovial se forma en el seno del tejido conjuntivo y difiere de otros epitelios en tres aspectos: 1) no existe lámina basal o lámina reticular; 2) la capa celular es incompleta, con la existencia de hiatos entre las células adyacentes, y 3) las «células epiteliales» derivan de los macrófagos y los fibroblastos pertenecientes al tejido conjuntivo adyacente. Algunas de las células de recubrimiento tienen un carácter fagocítico y otras secretor. Las células fagocíticas retiran los residuos celulares o los patógenos que pudieran perturbar el funcionamiento articular. Las secretoras regulan la composición del **líquido sinovial** que hay dentro de la cavidad articular. Este líquido lubrica los cartílagos de la articulación, distribuye el oxígeno y los nutrientes, y amortigua los golpes en su interior.

El soporte de tejido conjuntivo del cuerpo [v. figura 3.21]

Los tejidos conjuntivos crean el soporte interno del organismo. Sus capas tienden una conexión entre los órganos contenidos en las cavidades corporales y el resto del cuerpo. Estas capas: 1) aportan solidez y estabilidad; 2) mantienen los órganos internos en su posición relativa, y 3) ofrecen una vía para la distribución de los vasos sanguíneos, los linfáticos y los nervios.

El término fascia es una denominación general para nombrar una capa o una lámina de tejido conjuntivo que puede verse mediante su disección macroscópica. Estas capas y envolturas se dividen en tres componentes fundamentales: la fascia superficial, la fascia profunda y la fascia subserosa. En la **figura 3.21** se explica la anatomía funcional de estos estratos:

- La **fascia superficial,** o **capa subcutánea** (*sub,* debajo + *cutis,* piel) también recibe el nombre de *hipodermis* (*hypo,* debajo + *derma,* piel). Esta capa de tejido conjuntivo laxo separa la piel de los tejidos y órganos subyacentes. Su función es suministrar aislamiento y almohadillado, y dejar que la piel o las estructuras situadas bajo ella se muevan de manera independiente.
- La **fascia profunda** está compuesta de tejido conjuntivo denso regular. La organización de sus fibras se parece a la del contrachapado: todas las de una capa determinada llevan la misma dirección, pero su orientación cambia de una capa a otra. Esta variación sirve para que el tejido resista fuerzas aplicadas siguiendo múltiples trayectos diferentes. Las *cápsulas* resistentes que rodean la mayoría de los órganos, entre ellos los de las

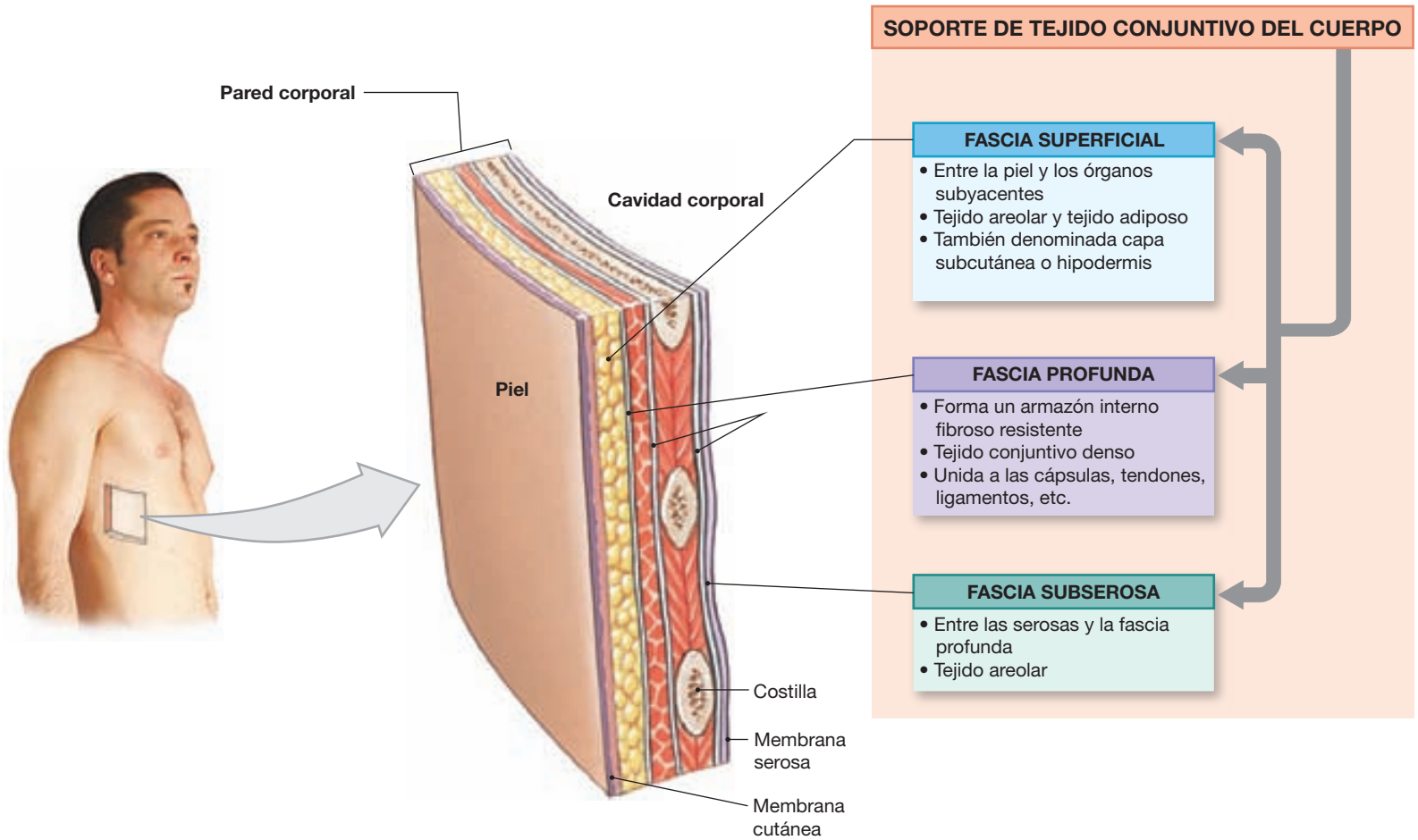

SOPORTE DE TEJIDO CONJUNTIVO DEL CUERPO
Pared corporal
Cavidad corporal
Piel
FASCIA SUPERFICIAL
• Entre la piel y los órganos subyacentes
• Tejido areolar y tejido adiposo
• También denominada capa subcutánea o hipodermis
FASCIA PROFUNDA
• Forma un armazón interno fibroso resistente
• Tejido conjuntivo denso
• Unida a las cápsulas, tendones, ligamentos, etc.
FASCIA SUBSEROSA
• Entre las serosas y la fascia profunda
• Tejido areolar
Costilla
Membrana serosa
Membrana cutánea

Figura 3.21 Fascias
Relación anatómica entre los elementos del tejido conjuntivo en el cuerpo.

cavidades torácica y peritoneal, están unidas a la fascia profunda. El pericondrio alrededor de los cartílagos, el periostio alrededor de los huesos y las vainas de tejido conjuntivo en torno a los músculos también están conectadas a la fascia profunda. La fascia profunda del cuello y las extremidades cruza entre los grupos musculares formando una *fascia intermuscular,* que los divide en compartimentos o grupos diferentes de acuerdo a su función y su desarrollo. Estos componentes de tejido conjuntivo denso están entretejidos; por ejemplo, la fascia profunda que envuelve a un músculo se combina con el tendón, cuyas fibras están entremezcladas con las del periostio. Esta disposición aporta una red fibrosa resistente para el cuerpo y liga entre sí sus elementos estructurales.

- La **fascia subserosa** es un estrato de tejido conjuntivo laxo que se halla entre la fascia profunda y las serosas que revisten las cavidades corporales. Como esta capa las separa entre sí, los movimientos de los músculos o los órganos musculares no deforman de una manera acusada su delicado revestimiento.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de membrana reviste las vías de conducción en los aparatos respiratorio y digestivo? ¿Por qué esta clase es la adecuada para dichas regiones?
2. Cite otro nombre de la fascia superficial. ¿Qué es lo que hace?
3. Se le pide que localice el pericardio. ¿Qué tipo de membrana es y dónde lo encontraría?
4. ¿Cuáles son las funciones de la membrana cutánea?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Tejido muscular [v. figura 3.22]

El **tejido muscular** está especializado en la contracción (**v. figura 3.22**). Los miocitos poseen orgánulos y propiedades distintas a las de otras células. Son capaces de efectuar potentes contracciones que acortan la célula a lo largo de su eje longitudinal. Como difieren de una célula «típica», el término **sarcoplasma** se emplea para designar el citoplasma de un miocito, y **sarcolema** para nombrar su membrana plasmática.

En el organismo existen tres tipos de tejido muscular: 1) *estriado*[1]; 2) *cardíaco,* y 3) *liso.* El mecanismo de contracción es similar en todos los casos, pero varían en su organización interna. En los capítulos posteriores describiremos cada tipo muscular con mayor detalle (el músculo estriado en el capítulo 9, el cardíaco en el capítulo 21 y el liso en el capítulo 25). Esta exposición girará en torno a sus características generales, en vez de a sus detalles específicos.

Tejido muscular estriado [v. figura 3.22a]

El **tejido muscular estriado,** o *músculo estriado,* contiene miocitos muy grandes. Como cada miocito estriado es relativamente largo y delgado, suelen llevar el nombre de **fibras musculares.** Las fibras musculares estriadas son muy atípicas porque pueden medir 0,3 m de longitud o más, y cada célula es de tipo **multinucleado,** pues posee cientos de núcleos situados justo bajo la superficie del sarcolema (**v. figura 3.22a**). Las fibras musculares estriadas son incapaces de dividirse, pero sí pueden surgir otras nuevas mediante la división de las **células miosatélite** (también llamadas células satélite), células mesenquimatosas que perduran en el tejido muscular estriado adulto. Esta situación le permite al menos su reparación parcial después de haber sufrido una lesión.

Las fibras musculares estriadas contienen filamentos de *actina* y *miosina* con una disposición paralela formando grupos funcionales organizados. Por esta razón, parecen adoptar un aspecto bandeado o *estriado* (**v. figura 3.22a**). En condiciones normales, las fibras musculares estriadas no se contraerán hasta ser estimuladas por los nervios, y el sistema nervioso ejerce un control voluntario sobre sus actividades. Por tanto, reciben la denominación de **músculo estriado voluntario.**

El tejido muscular estriado se mantiene unido por tejido conjuntivo areolar. Las fibras colágenas y elásticas que rodean a cada célula y a cada grupo celular se mezclan con las de un tendón o una aponeurosis encargada de conducir la fuerza de la contracción, habitualmente hasta llegar a un hueso del esqueleto. Una vez que el tejido muscular se contrae, tira del hueso y lo desplaza.

Tejido muscular cardíaco [v. figura 3.22b]

El **tejido muscular cardíaco** sólo está presente en el corazón. Un **miocito cardíaco** típico es más pequeño que una fibra muscular estriada, y posee un núcleo en posición central. Las llamativas estrías, observadas en la **figura 3.22b,** se parecen a las del músculo estriado. Los miocitos cardíacos forman abundantes conexiones entre sí, que ocupan unas regiones especializadas denominadas **discos intercalados.** A raíz de todo esto, el tejido muscular cardíaco consta de una red ramificada de miocitos interconectados. Las uniones intercelulares de anclaje ayudan a encauzar las fuerzas de contracción, y las uniones intercelulares comunicantes de los discos intercalados sirven para coordinar las actividades de cada miocito cardíaco tomado por separado. Al igual que las fibras musculares estriadas, los miocitos cardíacos son incapaces de dividirse, y como este tejido carece de células miosatélite, no puede regenerarse después de sufrir una afectación por una lesión o una enfermedad.

Los miocitos cardíacos no dependen de la actividad nerviosa para iniciar una contracción. En cambio, un tipo especializado llamado **célula marcapasos** fija una frecuencia regular. Aunque el sistema nervioso puede modificar el ritmo de la actividad impuesto por el marcapasos, no ejerce un control voluntario sobre cada miocito cardíaco. Por tanto, el músculo cardíaco recibe el nombre de **músculo estriado involuntario.**

Tejido muscular liso [v. figura 3.22c]

El **tejido muscular liso** puede hallarse en la base de los folículos pilosos; en las paredes de los vasos sanguíneos; en torno a los órganos huecos, como la vejiga urinaria; y en las capas que rodean las vías respiratorias, circulatorias, digestivas y genitales. Un miocito liso es una célula pequeña acabada en punta, que contiene un solo núcleo ovalado en una posición central (**v. figura 3.22c**). Estas células pueden dividirse y regenerar el tejido muscular liso después de una lesión. Los filamentos de actina y miosina de los miocitos lisos adoptan una organización diferente a la que tienen en el músculo estriado y cardíaco, y por esta razón no existen estrías; así pues, es el único tejido muscular *no estriado.* Los miocitos lisos suelen contraerse por sí solos, mediante la acción de unas *células de disparo.* Aunque la actividad neural puede desencadenar la contracción de este músculo, normalmente el sistema nervioso no ejerce un control voluntario sobre él. Por consiguiente, el músculo liso recibe el nombre de **músculo involuntario no estriado.**

Tejido nervioso [v. figura 3.23]

El **tejido nervioso,** también llamado **tejido neural,** está especializado en la conducción de los impulsos eléctricos desde una región del cuerpo a otra. La mayor parte de su contenido corporal (alrededor del 96%) está concentrado en el encéfalo y la médula espinal, los centros de control para el sistema nervioso. El tejido nervioso contiene dos tipos básicos de células: **neuronas** *(neuro,* nervio), o *células nerviosas,* y varias clases diferentes de células de sostén, que en

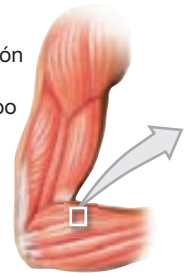
[1] La *Terminologia Histologica: International Terms for Human Cytology and Histology* (TH, © 2007) desglosa esta categoría en músculo estriado esquelético y músculo estriado visceral no cardíaco, según su localización y su función.

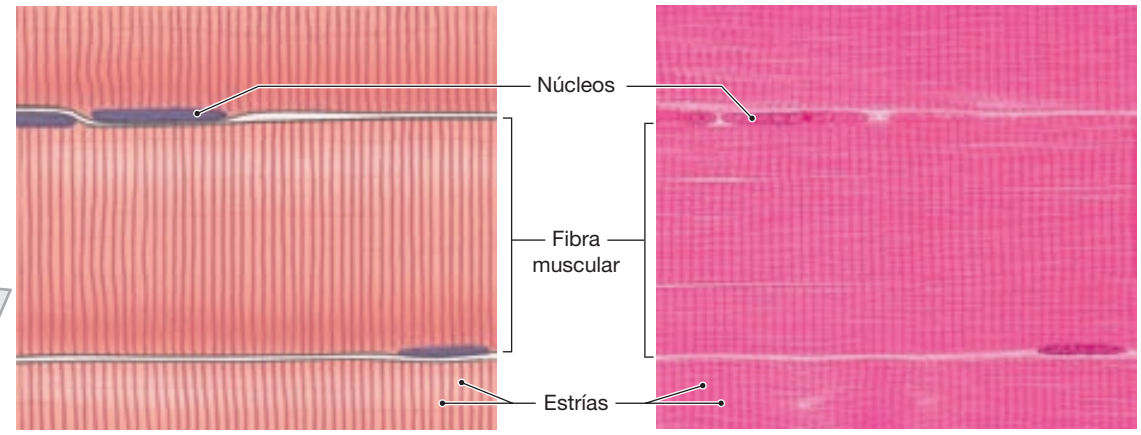
TEJIDO MUSCULAR ESTRIADO

Las células son largas, cilíndricas, estriadas y multinucleadas.

DISTRIBUCIÓN: combinado con tejidos conjuntivos y tejido nervioso en los músculos estriados

FUNCIONES: movimiento o estabilización de la posición del esqueleto; control de la entrada y la salida del tubo digestivo y de las vías respiratorias y urinarias; generación de calor; protección de las vísceras





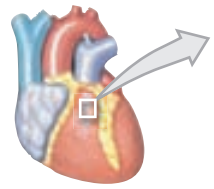
(a) Músculo estriado MO × 180

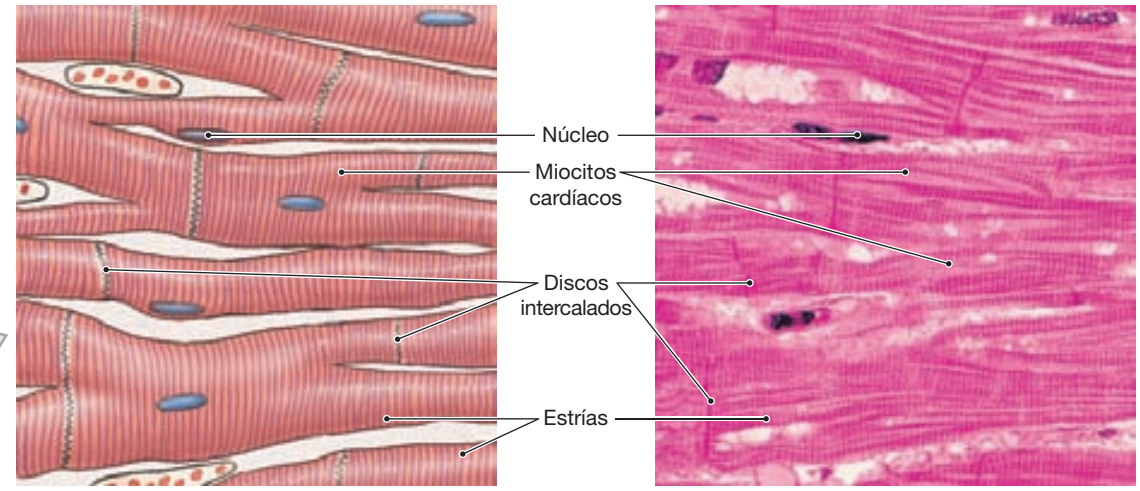
TEJIDO MUSCULAR CARDÍACO

Las células son cortas, ramificadas y estriadas; normalmente, tienen un solo núcleo; están interconectadas por discos intercalados.

DISTRIBUCIÓN: corazón

FUNCIONES: circulación de la sangre; mantenimiento de la presión arterial (hidrostática)





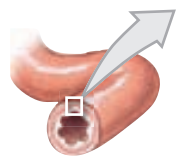
(b) Músculo cardíaco MO × 450

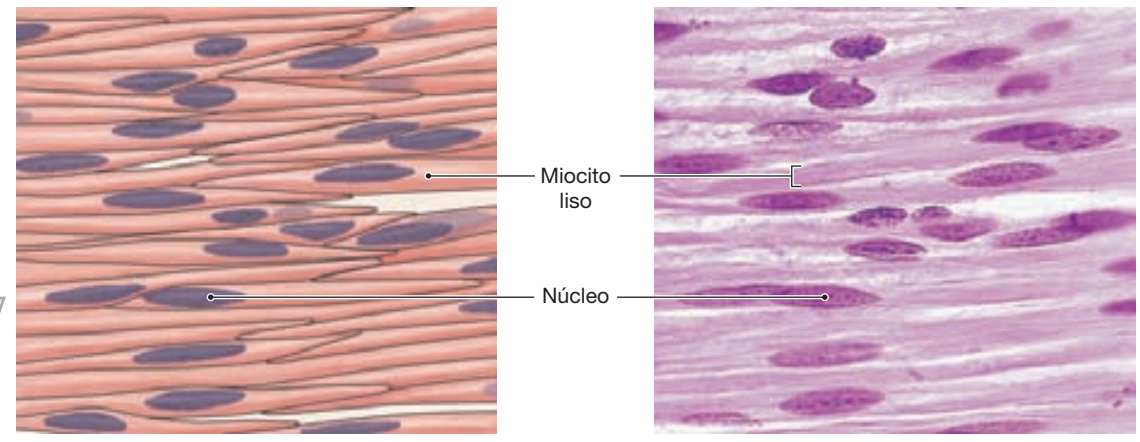
TEJIDO MUSCULAR LISO

Las células son cortas, fusiformes y no estriadas, con un solo núcleo central.

DISTRIBUCIÓN: está presente en las paredes de los vasos sanguíneos y en los órganos digestivos, respiratorios, urinarios y genitales

FUNCIONES: desplazamiento de la comida, la orina y las secreciones de las vías genitales; control del diámetro de las vías respiratorias; regulación del diámetro de los vasos sanguíneos





(c) Músculo liso MO × 235

Figura 3.22 Histología del tejido muscular

(a) Fibras musculares estriadas. Obsérvese el gran tamaño de la fibra, el llamativo patrón en bandas, los múltiples núcleos y la disposición sin ramificar. **(b)** Miocitos cardíacos. Los miocitos cardíacos difieren de las fibras musculares estriadas en tres aspectos fundamentales: tamaño (los miocitos cardíacos son más pequeños), organización (los miocitos cardíacos están ramificados) y número de núcleos (un miocito cardíaco típico tiene un núcleo de localización central). Ambos contienen filamentos de actina y miosina dispuestos en una serie organizada que produce las estrías observadas en ambos tipos de células musculares. **(c)** Miocitos lisos. Los miocitos lisos son pequeños y fusiformes, con un núcleo central. No se ramifican ni tienen estrías.

conjunto reciben el nombre de **neuroglia** (*glia,* pegamento). Las neuronas transmiten impulsos eléctricos a lo largo de sus membranas plasmáticas. Todas las funciones del sistema nervioso implican algún cambio en el patrón y en la frecuencia de los impulsos transportados por cada neurona. La neuroglia cumple diversas funciones, como proporcionar una estructura de soporte para el tejido nervioso, regular la composición del líquido intersticial y aportar nutrientes a las neuronas.

Las neuronas son las células más largas del organismo, y muchas llegan a medir un metro de longitud. La mayoría son incapaces de dividirse en circunstancias normales, y poseen muy pocas posibilidades de repararse a sí mismas tras sufrir una lesión. Una neurona típica presenta un **cuerpo celular,** o *soma,* que contiene un núcleo grande y llamativo (v. figura 3.23). Es característico que este cuerpo celular esté unido a varias prolongaciones ramificadas, llamadas **dendritas** (*dendron,* árbol), y a un solo **axón.** Las dendritas reciben mensajes aferentes; los axones conducen mensajes eferentes. Es la longitud del axón la que puede determinar que una neurona sea tan larga; como los axones son muy delgados, también se les denomina **fibras nerviosas.** En el capítulo 13 explicaremos las propiedades del tejido nervioso y ofreceremos más detalles de carácter histológico y citológico.

Tejidos, nutrición y envejecimiento

Los tejidos varían con la edad. Por regla general, las actividades de reparación y conservación pierden eficiencia, y una suma de cambios hormonales más las modificaciones en el estilo de vida influye sobre su estructura y su composición química en muchos casos. Los epitelios pierden grosor y los tejidos conjuntivos cada vez son más frágiles. Las personas sufren contusiones con facilidad y los huesos se vuelven más quebradizos; los dolores articulares y las fracturas óseas son afecciones frecuentes. Como los miocitos cardíacos y las neuronas no pueden reemplazarse, con el paso del tiempo, su pérdida acumulada debida a lesiones relativamente leves puede contribuir a crear un problema serio de salud, como una enfermedad cardiovascular o el deterioro de las funciones mentales.

En los próximos capítulos analizaremos los efectos del envejecimiento sobre órganos y sistemas concretos. Algunos de estos cambios obedecen a una programación genética. Por ejemplo, los condrocitos de las personas mayores producen una forma de proteoglucano un poco distinto al de la gente más joven. Esta diferencia tal vez explique las variaciones observadas en el grosor y la elasticidad del cartílago. En otros casos, la degeneración tisular puede frenarse provisionalmente o incluso invertirse. El descenso de la resistencia ósea que sufren las mujeres en relación con la edad, proceso llamado **osteoporosis,** a menudo está ocasionado por la combinación de inactividad, la aportación de una escasa cantidad de calcio en la alimentación y el descenso de los estrógenos circulantes (hormonas sexuales femeninas). En general, la aplicación de un programa de ejercicios y suplementos cálcicos, a veces sumado a tratamientos hormonales restitutivos, es capaz de conservar normal la estructura ósea durante muchos años. (Hay que evaluar escrupulosamente y de manera individual los peligros que entrañan los tratamientos hormonales restitutivos frente a sus posibles beneficios.)

En este capítulo hemos presentado los cuatro tipos básicos de tejidos que están presentes en el cuerpo humano. Al agruparse entre sí, estos tejidos forman todos los órganos y sistemas que se estudiarán en los capítulos posteriores.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de tejido muscular tiene células pequeñas con sus extremos en punta con núcleos únicos y sin estrías manifiestas?
2. ¿Por qué el músculo estriado se llama así?
3. ¿Qué tejido está especializado en la conducción de los impulsos eléctricos desde una región a otra del cuerpo?

Véase «Respuestas» al final del libro.

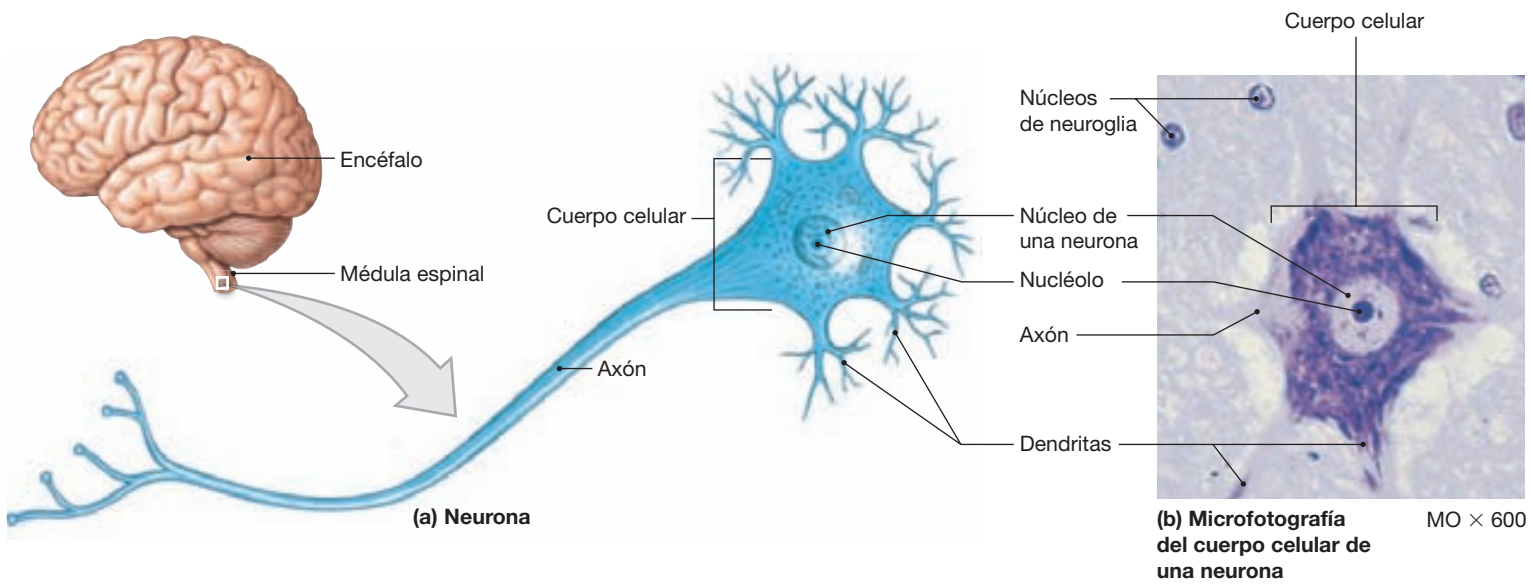


Figura 3.23 Histología del tejido nervioso
Imágenes esquemática **(a)** e histológica **(b)** de una neurona representativa. Las neuronas están especializadas en la conducción de los impulsos eléctricos recorriendo unas distancias relativamente amplias en el interior del cuerpo.

Nota clínica

Formación y crecimiento de los tumores Los médicos especializados en la detección y el tratamiento de los cánceres reciben el nombre de **oncólogos** *(onkos,* masa). Los anatomopatólogos y los oncólogos clasifican los cánceres según su aspecto celular y su lugar de origen. Se han descrito más de cien clases, pero para indicar la localización habitual del tumor primario se emplean amplias categorías. La tabla 3.3 condensa información acerca de los tumores benignos y malignos (cánceres) asociados a los tejidos comentados en este capítulo.

El cáncer aparece siguiendo una serie de pasos, esquematizados en la figura 3.24. Al principio, las células cancerosas se encuentran restringidas a un solo lugar, llamado **tumor primario** o **neoplasia primaria.** Todas las células del tumor suelen ser hijas de una sola célula maligna. En un primer momento, el crecimiento del tumor primario simplemente deforma el tejido, y su organización básica permanece indemne. La metástasis comienza cuando las células tumorales «escapan» del tumor primario e invaden el tejido que las rodea. Si esta invasión va seguida de su penetración en los vasos sanguíneos cercanos, las células cancerosas empiezan a circular por todo el cuerpo.

Como respuesta a unas indicaciones todavía desconocidas, más adelante estas células abandonan el aparato circulatorio y constituyen **tumores secundarios** en otros puntos. Estos tumores presentan un metabolismo sumamente activo, y su presencia estimula el crecimiento de vasos sanguíneos en la región. Este mayor aporte de sangre suministra nuevos nutrientes y acelera aún más el crecimiento y las metástasis tumorales. La muerte puede producirse por la compresión de órganos vitales, por la destrucción o la sustitución de sus células normales por células cancerosas no funcionales, o porque la voracidad de estas últimas haya privado a los tejidos normales de los nutrientes esenciales.

TABLA 3.3 Tumores benignos y malignos en los tipos principales de tejidos

Tejido	Descripción
EPITELIOS	
Carcinomas	Cualquier cáncer de origen epitelial
Adenocarcinomas	Cánceres de los epitelios glandulares
Angiosarcomas	Tumores malignos de las células endoteliales
Mesoteliomas	Tumores malignos de las células mesoteliales
TEJIDOS CONJUNTIVOS	
Fibromas	Tumores benignos de origen fibroblástico
Lipomas	Tumores benignos del tejido adiposo
Liposarcomas	Tumores malignos del tejido adiposo
Leucemias, linfomas	Tumores malignos de los tejidos hematopoyéticos
Condromas	Tumores benignos del cartílago
Condrosarcomas	Tumores malignos del cartílago
Osteomas	Tumores benignos del hueso
Osteosarcomas	Tumores malignos del hueso
TEJIDOS MUSCULARES	
Miomas	Tumores musculares benignos
Miosarcomas	Tumores malignos del tejido muscular estriado
Sarcomas cardíacos	Tumores malignos del tejido muscular cardíaco
Leiomiomas	Tumores benignos del tejido muscular liso
Leiomiosarcomas	Tumores malignos del tejido muscular liso
TEJIDOS NERVIOSOS	
Gliomas, neuromas	Tumores malignos de origen neuroglial

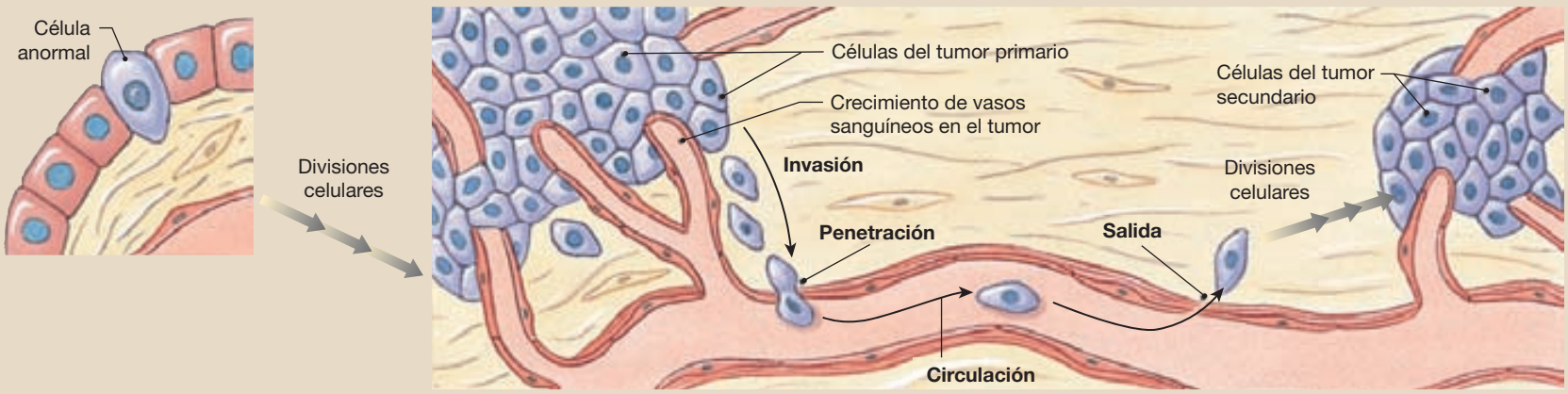


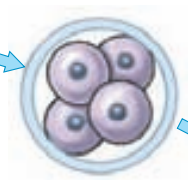
Figura 3.24 Aparición del cáncer
Esquema sobre las divisiones de una célula anormal que dan lugar a la formación de un tumor. Los vasos sanguíneos crecen en el interior del tumor, y las células tumorales los invaden para recorrer todo el cuerpo.

Formación de los tejidos

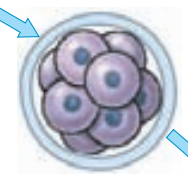
FECUNDACIÓN

La fecundación produce una sola célula, o **cigoto,** que contiene un número normal de cromosomas (46).

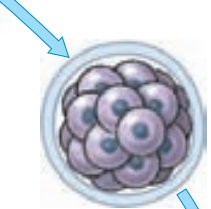
CIGOTO



DÍA 2

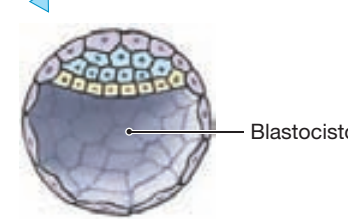


DÍA 3



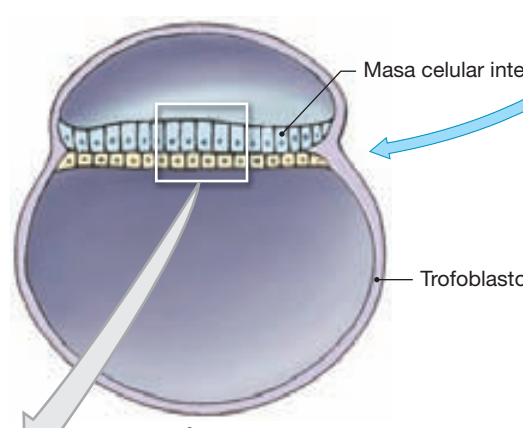
DÍA 4

Durante la **segmentación,** las divisiones celulares generan una esfera hueca de células llamada **blastocisto.** Este proceso tarda alrededor de una semana en completarse.

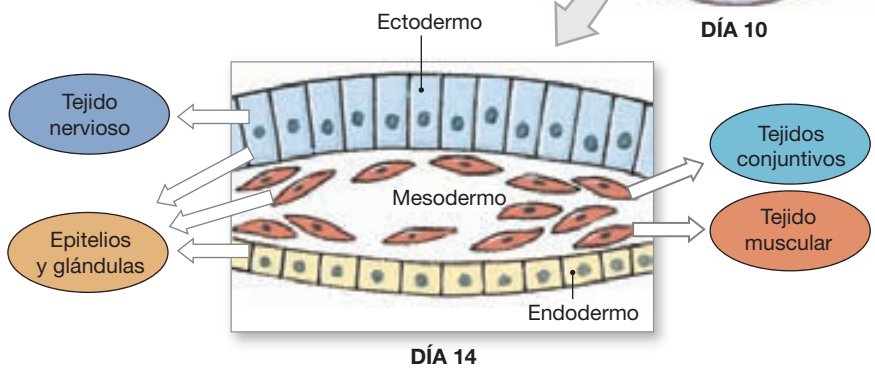


DÍA 6

En un corte, el blastocisto contiene dos grupos de células que siguen destinos muy diferentes. La capa externa, o **trofoblasto** (*trophos,* comida + *blast,* precursor), formará la placenta, que nutre al embrión en desarrollo. La **masa celular interna** es la que originará el auténtico embrión.



DÍA 10



DÍA 14

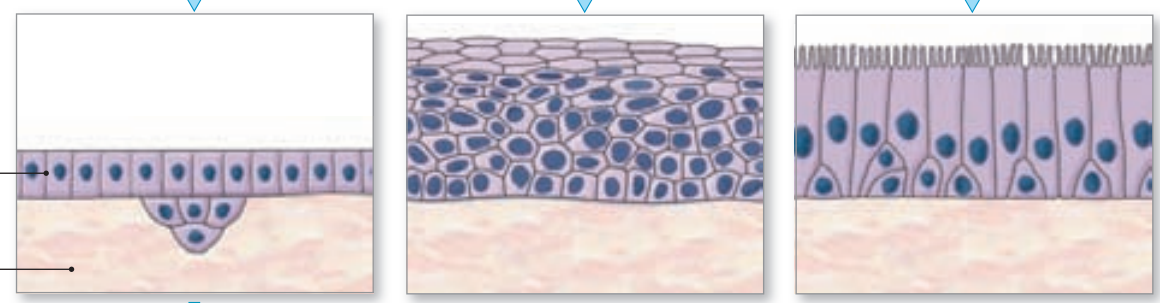
Las tres capas germinales participan en la formación de los órganos funcionales y los sistemas orgánicos. Las interacciones entre ellas se ofrecerán con detalle en los «Resúmenes de embriología» posteriores dedicados a cada sistema específico.

Durante la segunda semana del desarrollo, en la masa celular interna pueden observarse diferentes poblaciones de células, que están organizadas en las tres **capas germinales primarias:** el **ectodermo,** el **mesodermo** y el **endodermo.** La diferenciación posterior de las capas germinales primarias originará los principales tipos tisulares.

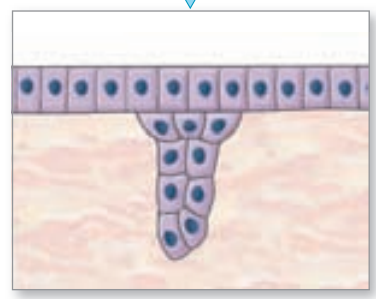
Desarrollo de los epitelios

Todos los epitelios comienzan como un epitelio simple que puede estratificarse más adelante.

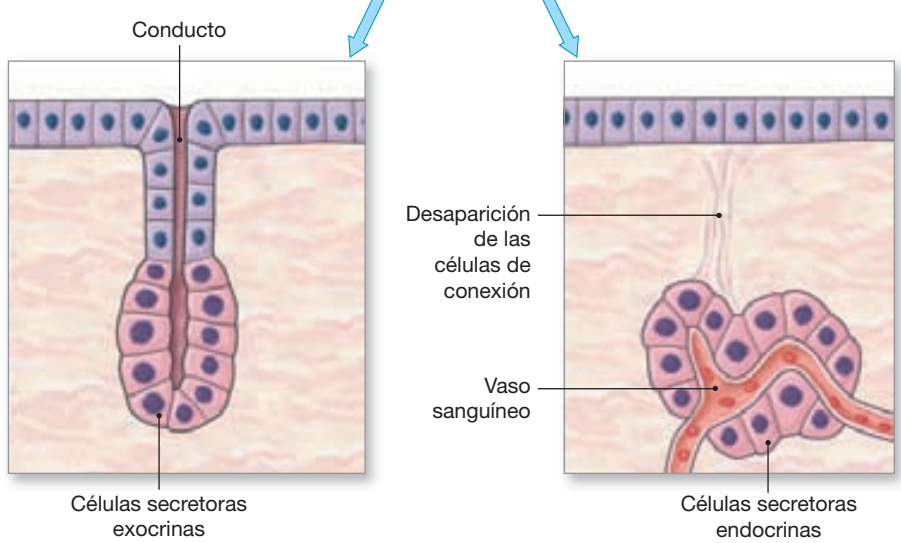
Estas células se diferencian en células epiteliales funcionales y células glandulares que pueden ejercer funciones endocrinas o exocrinas.



Las glándulas complejas empiezan a formarse cuando las células epiteliales crecen hacia el tejido conjuntivo subyacente.

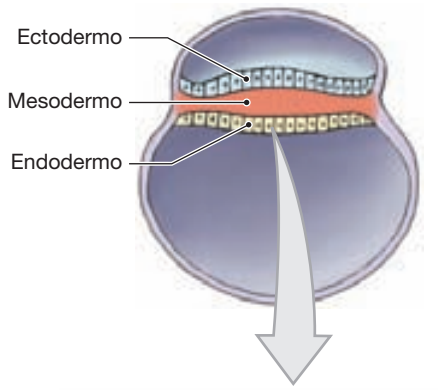


Durante la formación de una **glándula exocrina,** las células encargadas de poner en conexión el componente secretor con el exterior forman el conducto que transporta las secreciones de las células glandulares hasta la superficie epitelial.

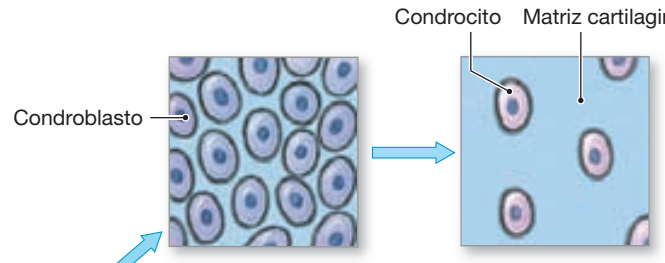


Durante la formación de una **glándula endocrina,** desaparecen las células de conexión, y las células glandulares vierten sus secreciones hacia los vasos sanguíneos o el líquido tisular que las rodea.

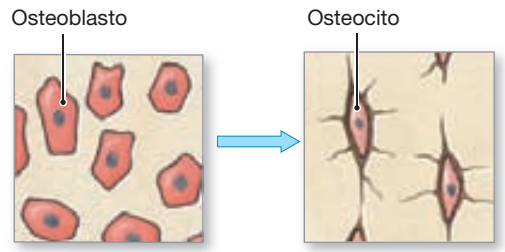
Orígenes de los tejidos conjuntivos



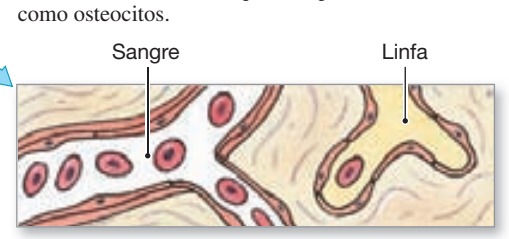
El **mesénquima** es el primer tejido conjuntivo que aparece en el embrión en desarrollo. Su composición presenta unas células estrelladas separadas por una sustancia fundamental que contiene filamentos proteínicos delgados. El mesénquima da origen a todas las demás formas de tejido conjuntivo, y las células mesenquimatosas dispersas que perviven en los tejidos conjuntivos adultos participan en su reparación tras la lesión.



El cartílago aparece cuando las células mesenquimatosas se diferencian en **condroblastos,** que producen la matriz cartilaginosa. Estas células más tarde se transforman en condrocitos.



La formación del hueso comienza cuando las células mesenquimatosas se diferencian en **osteoblastos,** que establecen la matriz ósea. Más tarde, estas células quedan aprisionadas como osteocitos.



Los tejidos conjuntivos líquidos se forman cuando las células mesenquimatosas crean una red de tubos interconectados. Las células atrapadas en su interior se diferencian en glóbulos rojos y blancos.

El **tejido conjuntivo embrionario** se desarrolla a medida que aumenta la densidad de las fibras. Puede diferenciarse en cualquiera de los tejidos conjuntivos propiamente dichos.

Tejido conjuntivo de sostén

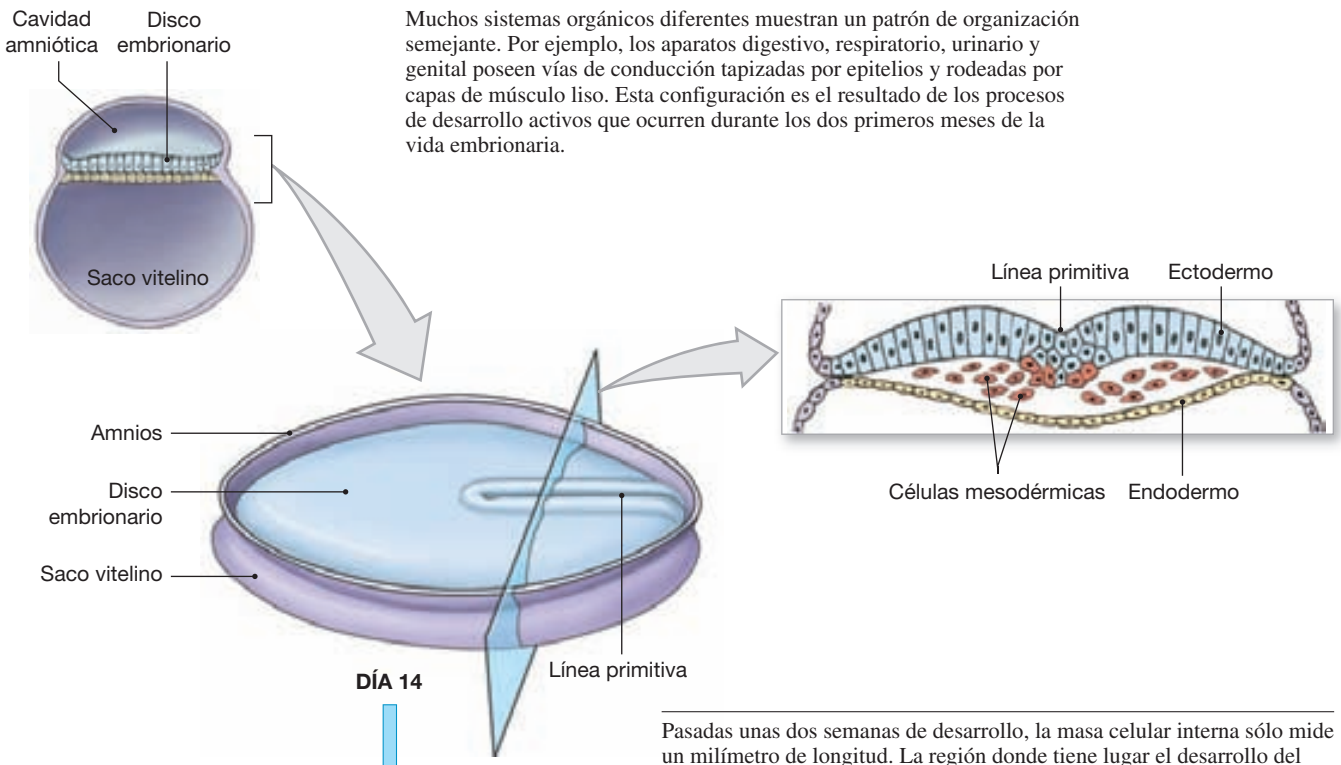
Tejido conjuntivo líquido

Tejido conjuntivo laxo

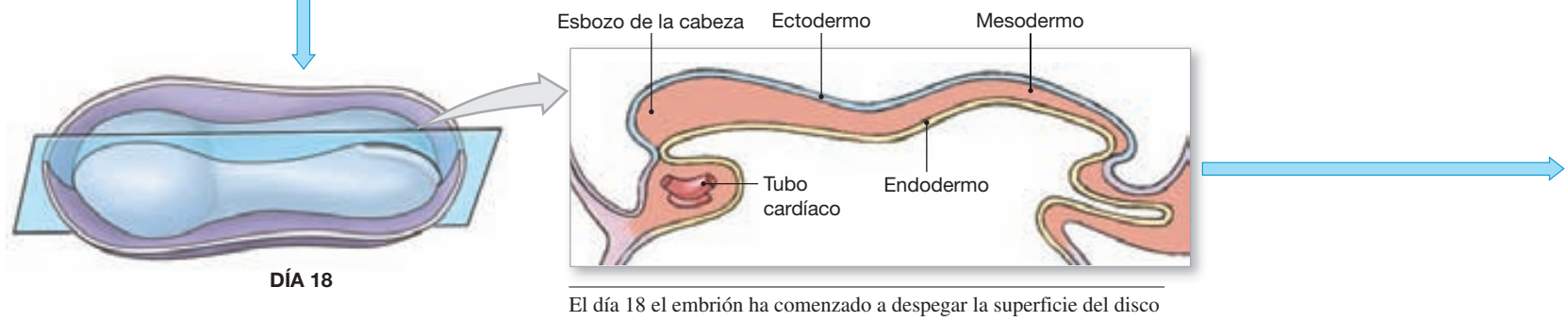
Tejido conjuntivo denso

Desarrollo de los sistemas orgánicos

Muchos sistemas orgánicos diferentes muestran un patrón de organización semejante. Por ejemplo, los aparatos digestivo, respiratorio, urinario y genital poseen vías de conducción tapizadas por epitelios y rodeadas por capas de músculo liso. Esta configuración es el resultado de los procesos de desarrollo activos que ocurren durante los dos primeros meses de la vida embrionaria.

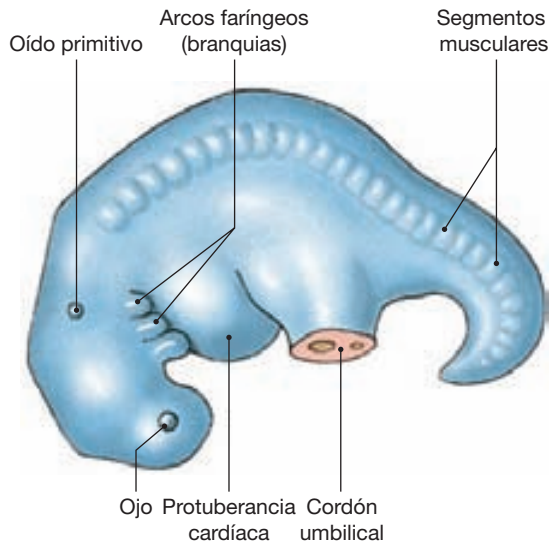


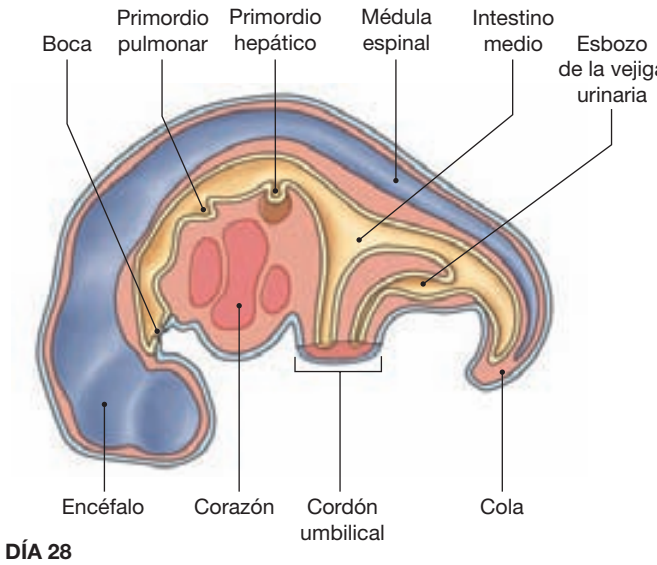
Pasadas unas dos semanas de desarrollo, la masa celular interna sólo mide un milímetro de longitud. La región donde tiene lugar el desarrollo del embrión se denomina **disco embrionario.** En este momento, contiene un par de capas epiteliales: un ectodermo superior y un endodermo inferior. A nivel de una zona llamada **línea primitiva,** las células superficiales emigran entre ambas, lo que añade una capa intermedia, el mesodermo.



El día 18 el embrión ha comenzado a despegar la superficie del disco embrionario. Ya se ha formado el corazón, además de muchos vasos sanguíneos, en una zona bastante anterior a los demás sistemas orgánicos. Mientras no se indique lo contrario, las explicaciones dedicadas al desarrollo de los sistemas orgánicosque se ofrecen en los próximos capítulos partirán de esta etapa.

DERIVADOS DE LAS CAPAS GERMINALES PRIMARIAS	
Origen ectodérmico:	Epidermis y derivados epidérmicos del sistema tegumentario, como los folículos pilosos, las uñas y las glándulas que tienen una comunicación con la superficie cutánea (sudor, leche y sebo) Revestimiento de la boca, las glándulas salivales, las vías de conducción nasales y el ano Sistema nervioso, incluido el encéfalo y la médula espinal Porciones del sistema endocrino (hipófisis y partes de las glándulas suprarrenales) Porciones del cráneo, los arcos faríngeos y los dientes
Origen mesodérmico:	Dermis del sistema tegumentario Revestimiento de las cavidades corporales (pleural, pericárdica, peritoneal) Sistema muscular, óseo, aparato cardiovascular y sistema linfático Riñones y parte de las vías urinarias Gónadas y la mayor parte de las vías genitales Tejidos conjuntivos que sostienen todos los sistemas orgánicos Porciones del sistema endocrino (parte de las glándulas suprarrenales y los tejidos endocrinos de las vías genitales)
Origen endodérmico:	La mayor parte del aparato digestivo: epitelio (excepto la boca y el ano), glándulas exocrinas (excepto las glándulas salivales), hígado y páncreas La mayor parte del aparato respiratorio: epitelio (excepto las vías de conducción nasales) y glándulas mucosas Porciones de los aparatos urinario y genital (conductos y células progenitoras que producen los gametos) Porciones del sistema endocrino (timo, glándula tiroides, glándulas paratiroides y páncreas)





DÍA 28

Pasado un mes, pueden apreciarse todos los principales sistemas orgánicos durante sus primeras fases. En la tabla adjunta se resume la función de cada capa germinal primaria en la formación de los órganos; en los resúmenes de embriología posteriores se facilitan sus detalles.

TÉRMINOS CLÍNICOS

adherencias: Conexiones fibrosas de carácter restrictivo, que pueden derivar de una operación, una infección o de otras lesiones ocurridas en las serosas.

anaplasia: Cambio irreversible que afecta al tamaño y la forma de las células tisulares.

anatomopatólogos: Médicos especializados en el diagnóstico de las enfermedades, básicamente mediante el examen de los líquidos corporales, las muestras de tejido y otros datos anatómicos.

ascitis: Acumulación de líquido peritoneal que genera una hinchazón abdominal característica.

derrame: Acumulación de líquido en las cavidades corporales.

displasia: Cambio en la forma, el tamaño y la organización normal de las células tisulares.

inmunoterapia: Administración de fármacos que contribuye a que el sistema inmunitario reconozca las células cancerosas y las ataque.

liposucción: Técnica quirúrgica para extraer el tejido adiposo no deseado mediante su aspiración a través de una cánula.

metaplasia: Cambio estructural que modifica la naturaleza de un tejido.

oncólogos: Médicos especializados en la detección y el tratamiento del cáncer.

pericarditis: Inflamación del pericardio.

peritonitis: Inflamación del peritoneo.

pleuritis (pleuresía)**:** Inflamación del revestimiento que cubre las cavidades pleurales.

quimioterapia: Administración de fármacos que destruyen el tejido canceroso o impiden las divisiones mitóticas.

remisión: Etapa en la que un tumor deja de crecer o crece más lento; meta de los tratamientos contra el cáncer.

tumor primario (neoplasia primaria)**:** Punto de formación inicial de un cáncer.

tumor secundario: Colonia de células cancerosas formada por metástasis a través de una diseminación celular desde un tumor primario.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 52

1. Los **tejidos** son una colección de células especializadas y productos celulares organizados para llevar a cabo una cantidad relativamente escasa de funciones. Existen cuatro **tipos básicos de tejidos:** *tejido epitelial, tejido conjuntivo, tejido muscular* y *tejido nervioso (v. figura 3.1).*
2. La **histología** es el estudio de los tejidos.

Tejido epitelial 52

1. El **tejido epitelial** comprende los *epitelios,* que recubren las superficies, y las *glándulas,* que son estructuras secretoras derivadas de ellos. Un **epitelio** es una lámina **avascular** de células que forma una superficie, un revestimiento o un recubrimiento. Los epitelios están compuestos sobre todo por células muy ligadas entre sí, en vez de sustancias extracelulares *(v. figuras 3.2 a 3.10).*
2. Hay un reemplazo constante de las células epiteliales a través de la actividad de las células progenitoras.

Funciones del tejido epitelial 53

3. Los epitelios ofrecen protección física, control de la permeabilidad, sensibilidad, y producen secreciones especializadas. Las **células glandulares** son células epiteliales (o derivados suyos) que fabrican secreciones.

Especializaciones de las células epiteliales 53

4. Las células epiteliales están especializadas en mantener la integridad física del epitelio y ejercer funciones secretoras o de transporte.
5. Los epitelios pueden manifestar una **polaridad** desde la cara *basal* a la *apical;* las células vecinas están conectadas por sus *caras laterales;* algunas poseen microvellosidades a lo largo de su cara apical. Muchas veces hay diferencias estructurales y funcionales entre la cara apical y las caras *basolaterales* de una célula epitelial aislada *(v. figura 3.2).*
6. El batido coordinado de los cilios en un **epitelio ciliado** desplaza las sustancias a través de la superficie epitelial *(v. figura 3.2).*

Mantenimiento de la integridad del epitelio 54

7. Todos los tejidos epiteliales están apoyados sobre una **lámina basal** subyacente que consta de una *capa transparente* (lámina lúcida), producida por las células epiteliales, y en general una *capa densa* más profunda (lámina densa), segregada por el tejido conjuntivo al que recubre. En las zonas expuestas a agresiones químicas o mecánicas extremas, la división de las **células germinativas** reemplaza las células epiteliales de vida corta *(v. figura 3.3a).*

Clasificación de los epitelios 55

8. Los epitelios se clasifican de acuerdo con el número de capas celulares y con la forma que tienen las células expuestas en su superficie *(v. figuras 3.4 a 3.7).*
9. Un **epitelio simple** tiene una sola capa de células que cubre la lámina basal. Un **epitelio estratificado** posee varias capas. En un **epitelio pavimentoso** las células de su superficie son delgadas y planas; en un **epitelio cúbico** las células se parecen a pequeñas cajas hexagonales; en un **epitelio cilíndrico** las células también son hexagonales, pero relativamente altas y delgadas. El **epitelio cilíndrico seudoestratificado** contiene células cilíndricas, algunas dotadas de cilios, y células mucosas (secretoras) de aspecto estratificado, aunque no lo están. Un **epitelio de transición** se caracteriza por una mezcla de lo que parecen células cúbicas y pavimentosas, dispuestas para permitir su estiramiento *(v. figuras 3.4 a 3.7).*

Epitelios glandulares 58

10. Las glándulas pueden clasificarse por el tipo de secreción producida, por su estructura o por su modo de secreción *(v. figuras 3.8 a 3.10).*
11. Las secreciones **exocrinas** se expulsan por **conductos** sobre la piel o sobre la superficie de un epitelio que comunique con el exterior; las secreciones **endocrinas,** llamadas **hormonas,** se emiten desde las células glandulares hacia el líquido intersticial que las rodea.
12. Las glándulas exocrinas pueden clasificarse como **serosas** (que producen una solución acuosa que suele contener enzimas), **mucosas** (que producen un moco viscoso pegajoso) o **mixtas** (que producen ambos tipos de secreciones).
13. En los epitelios que contienen células secretoras glandulares dispersas, cada una recibe el nombre de **glándula unicelular.** Las **glándulas pluricelulares** son epitelios glandulares o agregados de células glandulares que producen secreciones exocrinas o endocrinas *(v. figuras 3.8/3.9).*
14. Una célula epitelial glandular puede emitir sus secreciones por un mecanismo merocrino, apocrino u holocrino *(v. figura 3.10).*
15. En la **secreción merocrina,** el método más frecuente de secreción, el producto se libera por exocitosis. La **secreción apocrina** entraña la pérdida del producto de secreción y parte del citoplasma. A diferencia de los otros dos métodos, la **secreción holocrina** destruye la célula, que había quedado envuelta junto a los productos de secreción antes de desintegrarse *(v. figura 3.10).*

Tejidos conjuntivos 61

1. Todos los tejidos conjuntivos tienen tres componentes: células especializadas, **fibras proteínicas** extracelulares y **sustancia fundamental.** La combinación de las fibras proteínicas y la sustancia fundamental forma la **matriz** del tejido.
2. Mientras que los epitelios constan casi exclusivamente de células, en el tejido conjuntivo la mayor parte de su volumen corresponde a la matriz extracelular. Por tanto, los tejidos conjuntivos, con la excepción del tejido adiposo, se identifican por las características de su matriz extracelular.
3. El **tejido conjuntivo** es un tejido interno con múltiples funciones importantes, como la constitución de un armazón estructural, el transporte de líquidos y sustancias disueltas, la protección de los órganos delicados, el apoyo, envoltura e interconexión de los tejidos, la conservación de las reservas de energía y la defensa del cuerpo contra los microorganismos.

Clasificación de los tejidos conjuntivos 62

4. El **tejido conjuntivo propiamente dicho** designa todos los tejidos conjuntivos que contengan poblaciones celulares variadas y tipos de fibras suspendidos en una sustancia fundamental viscosa *(v. figura 3.11)*.
5. Los **tejidos conjuntivos líquidos** tienen una población característica de células, suspendida en una sustancia fundamental acuosa que lleva proteínas disueltas. La *sangre* y la *linfa* son ejemplos de tejidos conjuntivos líquidos *(v. figura 3.11)*.
6. Los **tejidos conjuntivos de sostén** poseen una población celular menos variada que el tejido conjuntivo propiamente dicho. Además, tienen una matriz densa que contiene fibras muy apretadas. Los dos tipos de tejidos conjuntivos de sostén son el *cartílago* y el *hueso (v. figura 3.11)*.

Tejido conjuntivo propiamente dicho 62

7. El tejido conjuntivo propiamente dicho está compuesto por fibras extracelulares, una sustancia fundamental viscosa y dos categorías de células: **células fijas** y **células móviles** *(v. figura 3.12 y tabla 3.1)*.
8. En el tejido conjuntivo hay tres tipos de fibras: **fibras colágenas, fibras reticulares y fibras elásticas** *(v. figuras 3.12/3.14/3.15)*.
9. Todos los tejidos conjuntivos derivan del **mesénquima** embrionario *(v. figura 3.13)*.
10. El tejido conjuntivo propiamente dicho abarca los **tejidos conjuntivos laxo** y **denso.** Hay tres tipos de tejido conjuntivo laxo: **tejido areolar, tejido adiposo** y **tejido reticular.** En el tejido conjuntivo laxo, la mayor parte de su volumen es sustancia fundamental, un líquido viscoso que amortigua los golpes. La mayor parte del volumen del **tejido conjuntivo denso** consta de fibras proteínicas extracelulares. Hay dos tipos de tejido conjuntivo denso: el **tejido conjuntivo denso regular,** cuyas fibras son paralelas y están alineadas a lo largo de las líneas de fuerza, y el **tejido conjuntivo denso irregular,** cuyas fibras forman una malla entretejida *(v. figuras 3.14/3.15)*.

Tejidos conjuntivos líquidos 68

11. La **sangre** y la **linfa** son dos ejemplos de tejidos conjuntivos líquidos. Cada una tiene un grupo característico de células en el interior de una matriz acuosa. Ambos contienen células y muchos tipos diferentes de proteínas disueltas que cuando se encuentra en condiciones normales no forman fibras insolubles *(v. figura 3.16)*.
12. El líquido extracelular abarca el **plasma** de la sangre; el **líquido intersticial** dentro de otros tejidos conjuntivos y otros tipos tisulares, y la linfa, que queda confinada a los vasos del sistema linfático.

Tejidos conjuntivos de sostén 68

13. El cartílago y el hueso se denominan **tejidos conjuntivos de sostén** porque soportan el resto del cuerpo *(v. figuras 3.17/3.18)*.
14. La matriz del **cartílago** es un gel de naturaleza firme que contiene **sulfatos de condroitina.** La producen unas células inmaduras llamadas **condroblastos,** y se mantiene gracias a unas células maduras llamadas **condrocitos.** Un recubrimiento fibroso denominado **pericondrio** separa el cartílago de los tejidos que lo rodean. El cartílago crece por dos mecanismos diferentes, el **crecimiento por aposición** (crecimiento que se produce en la superficie) y el **crecimiento intersticial** (crecimiento desarrollado desde el interior) *(v. figura 3.18)*.
15. Hay tres tipos de cartílago: **cartílago hialino, cartílago elástico** y **cartílago fibroso** *(v. figura 3.18 y tabla 3.2)*.
16. El **hueso (tejido óseo)** tiene una matriz compuesta de fibras colágenas y sales cálcicas, que le dota de unas propiedades singulares *(v. figura 3.19)*.
17. Los **osteocitos** de las **lagunas** dependen para el aporte de nutrientes de su difusión a través de las conexiones intercelulares o de los **conductillos** *(v. figura 3.19 y tabla 3.2)*.
18. Todas las superficies óseas excepto las situadas dentro de las cavidades articulares están recubiertas por un **periostio** que tiene una capa fibrosa y otra celular. El periostio sirve para sujetar un hueso a los tejidos que lo rodean, los tendones y los ligamentos, y participa en su reparación tras sufrir una lesión.

Membranas 72

1. Las membranas forman una barrera o separación. Los epitelios y los tejidos conjuntivos se reúnen para formar membranas que cubren y protegen otras estructuras y tejidos. Hay cuatro tipos de membranas: *mucosas, serosas, cutáneas* y *sinoviales (v. figura 3.20)*.

Mucosas 72

2. Las **mucosas** tapizan las vías de conducción que comunican con el exterior, como el tubo digestivo y las vías respiratorias. Estas superficies epiteliales suelen humedecerse con secreciones mucosas. Contienen un tejido areolar denominado **lámina propia** *(v. figura 3.20a)*.

Serosas 72

3. Las **serosas** tapizan las cavidades internas y son delicadas, húmedas y muy permeables. Entre sus ejemplos figuran las membranas pleural, peritoneal y pericárdica. Cada serosa forma un líquido llamado **trasudado** *(v. figura 3.20b)*.

Membrana cutánea 74

4. La **membrana cutánea,** o **piel,** cubre la superficie del cuerpo. A diferencia de otras membranas, es relativamente gruesa, impermeable y suele estar seca *(v. figura 3.20c)*.

Membranas sinoviales 74

5. La **membrana sinovial,** situada dentro de la cavidad de las articulaciones sinoviales, produce el **líquido sinovial** que llena este espacio. El líquido sinovial sirve para lubricar la articulación y favorece un movimiento suave en articulaciones como la rodilla *(v. figura 3.20d)*.

El soporte de tejido conjuntivo del cuerpo 74

1. Todos los sistemas orgánicos están interconectados por una red de tejido conjuntivo propiamente dicho que comprende la **fascia superficial** (la **capa subcutánea** o **hipodermis,** que separa la piel de los tejidos y órganos subyacentes), la **fascia profunda** (tejido conjuntivo denso) y la **fascia subserosa** (la capa entre la fascia profunda y las serosas que revisten las cavidades corporales) *(v. figura 3.21)*.

Tejido muscular 75

1. El **tejido muscular** está compuesto básicamente de células especializadas en la contracción. Hay tres tipos diferentes de tejido muscular: *músculo estriado, músculo cardíaco* y *músculo liso (v. figura 3.22)*.

Tejido muscular estriado 75

2. El **tejido muscular estriado** contiene **fibras musculares** cilíndricas muy grandes interconectadas por fibras colágenas y elásticas. Las fibras musculares estriadas tienen estrías debidas a la organización de sus proteínas contráctiles. Como puede controlarse su contracción mediante el sistema nervioso, el músculo estriado se clasifica como **músculo estriado voluntario.** La división de las **células miosatélite** produce nuevas fibras musculares *(v. figura 3.22a)*.

Tejido muscular cardíaco 75

3. El **tejido muscular cardíaco** sólo está presente en el corazón. Está compuesto por células cortas ramificadas unicelulares. El sistema nervioso no ejerce un control voluntario sobre los miocitos cardíacos. Por tanto, el músculo cardíaco se clasifica como **músculo estriado involuntario** *(v. figura 3.22b)*.

Tejido muscular liso 75

4. El **tejido muscular liso** está compuesto por células cortas acabadas en punta, que contienen un solo núcleo. Está presente en las paredes de los vasos sanguíneos, en torno a los órganos huecos y en capas alrededor de diversos conductos. Se clasifica como **músculo involuntario no estriado.** Los miocitos lisos pueden dividirse y, por tanto, regenerarse después de una lesión *(v. figura 3.22c)*.

Tejido nervioso 75

1. El **tejido nervioso** o **tejido neural** está especializado en la conducción de los impulsos eléctricos desde una región del cuerpo a otra.
2. El tejido nervioso consta de dos tipos de células: neuronas y neuroglia. Las **neuronas** transmiten información como impulsos eléctricos. Hay diversos tipos de **neuroglia,** y entre sus demás funciones, estas células proporcionan una estructura de soporte para el tejido nervioso y cumplen una misión en el aporte de nutrientes a las neuronas *(v. figura 3.23)*.

3. Las neuronas presentan un **cuerpo celular,** o **soma,** que contiene un núcleo grande y llamativo. Desde el cuerpo celular se extienden varias prolongaciones ramificadas, llamadas **dendritas,** y un solo **axón** o **fibra nerviosa.** Las dendritas reciben mensajes aferentes; los axones conducen mensajes hacia otras células *(v. figura 3.23)*.

Tejidos, nutrición y envejecimiento 77

1. Los tejidos varían con la edad. Su reparación y su conservación pierden eficiencia, y se modifica su estructura y su composición química en muchos casos.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. músculo estriado	a. todos los epitelios
___ 2. mastocito	b. capa celular única
___ 3. avascular	c. vejiga urinaria
___ 4. de transición	d. destrucción de la célula
___ 5. célula caliciforme	e. componente del tejido conjuntivo
___ 6. colágeno	f. glándula exocrina unicelular
___ 7. cartílago	g. tendón
___ 8. epitelio simple	h. célula móvil
___ 9. sustancia fundamental	i. lagunas
___ 10. secreción holocrina	j. estriado

11. Las células epiteliales no:
    (a) cubren todas las superficies del cuerpo expuestas al exterior
    (b) revisten el tubo digestivo ni las vías respiratorias, genitales y urinarias
    (c) revisten la cara externa de los vasos sanguíneos y el corazón
    (d) revisten las cavidades internas y las vías de conducción

12. ¿Cuál de las siguientes estructuras designa el tejido conjuntivo denso que forma las cápsulas situadas alrededor de muchos órganos?
    (a) fascia superficial (b) hipodermis
    (c) fascia profunda (d) fascia subserosa

13. La reducción del roce entre las superficies parietal y visceral de una cavidad interna es una función de las:
    (a) membranas cutáneas
    (b) mucosas
    (c) serosas
    (d) membranas sinoviales

14. ¿Cuál de las siguientes características no corresponde a las células epiteliales?
    (a) Pueden formar una sola capa o múltiples.
    (b) Siempre tienen una superficie libre expuesta al medio externo o a alguna cavidad interna o una vía de conducción.
    (c) Son avasculares.
    (d) Están en número escaso, pero hay una gran cantidad de material extracelular.

15. Entre las funciones del tejido conjuntivo figuran las siguientes, excepto:
    (a) formación de un armazón estructural para el cuerpo
    (b) transporte de líquidos y sustancias disueltas
    (c) conservación de las reservas de energía
    (d) sensibilidad

16. ¿Cuál de las siguientes propiedades no corresponde al tejido muscular liso?
    (a) está compuesto de células pequeñas que acaban en punta
    (b) posee células con muchos núcleos de forma irregular
    (c) puede reemplazar sus células y regenerarse después de una lesión
    (d) se contrae con o sin estimulación nerviosa

17. Los cambios tisulares ocurridos con la edad consisten en:
    (a) una menor capacidad de reparación
    (b) una conservación tisular menos eficiente
    (c) unos epitelios más delgados
    (d) todas las anteriores

18. ¿Qué tipo de tejido de sostén está presente en el pabellón auricular del oído y en la punta de la nariz?
    (a) hueso
    (b) cartílago fibroso
    (c) cartílago elástico
    (d) cartílago hialino

19. Un epitelio está conectado al tejido conjuntivo subyacente mediante:
    (a) una lámina basal
    (b) conductillos
    (c) estereocilios
    (d) proteoglucanos

20. ¿Cuáles de las siguientes son células móviles presentes en el tejido conjuntivo propiamente dicho?
    (a) macrófagos fijos
    (b) células mesenquimatosas y adipocitos
    (c) fibroblastos y melanocitos
    (d) eosinófilos, neutrófilos y mastocitos

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿En qué se distingue la función de un tejido y de una célula en el organismo?

2. Una capa de glucoproteínas y una red de filamentos proteínicos finos que cumplen escasas funciones en conjunto, actúan como barrera para limitar el paso de las proteínas y otras moléculas grandes desde el tejido conjuntivo hacia el epitelio. Esto describe la estructura y la función de:
    (a) los conductos interfaciales (b) la lámina reticular
    (c) la lámina basal (d) el tejido areolar

3. Las células del tejido conjuntivo que responden a las lesiones o las infecciones mediante su división para producir células hijas que se diferencien en otros tipos tisulares son:
    (a) mastocitos
    (b) fibroblastos
    (c) plasmocitos
    (d) células mesenquimatosas

4. ¿Cómo funciona un tendón?

5. ¿Cuál es la diferencia entre las secreciones exocrinas y endocrinas?

6. ¿Cuál es la importancia de los cilios en el epitelio respiratorio?

7. ¿Por qué al pellizcar la piel normalmente no se deforman ni se alteran los músculos subyacentes?

8. ¿En qué se diferencia un tendón de una aponeurosis?

9. ¿Qué son las células germinativas y cuál es su función?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El análisis de una secreción glandular indica que contiene algo de ADN, ARN y componentes de membrana como fosfolípidos. ¿De qué tipo de secreción se trata y por qué?

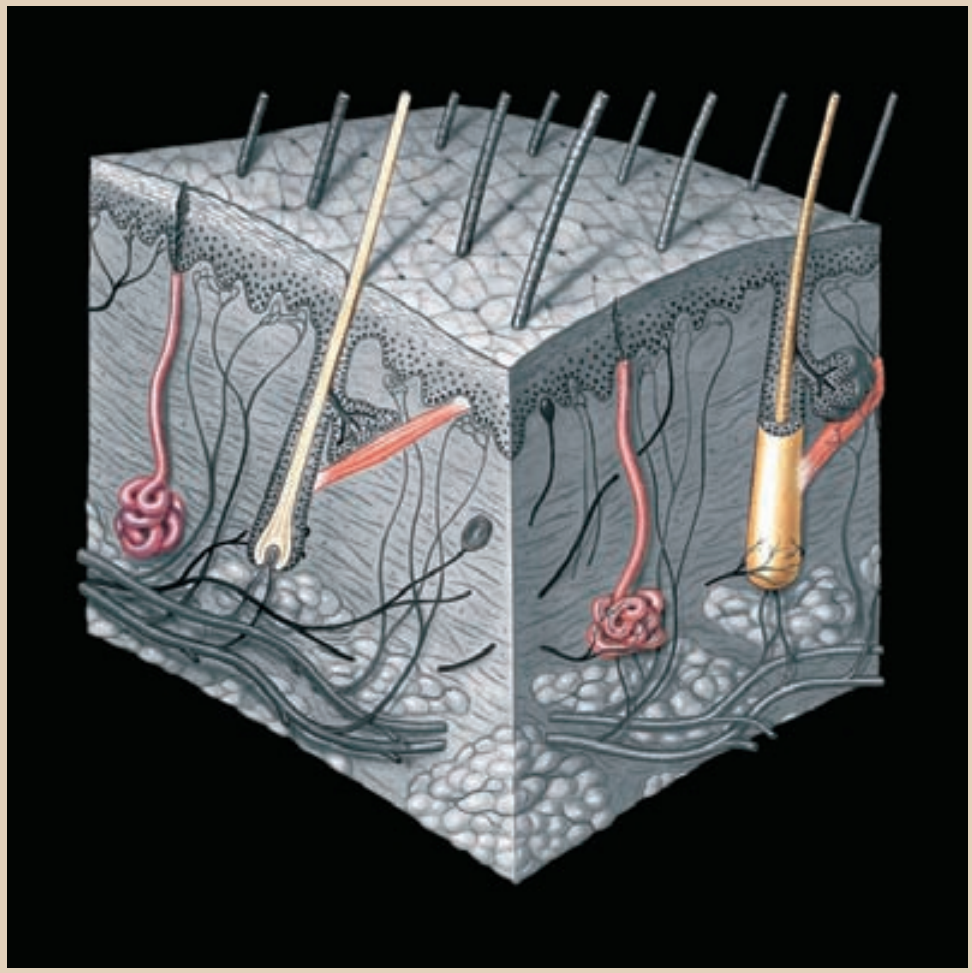
2. Durante un examen en el laboratorio un estudiante valora un corte de tejido compuesto por muchas fibras proteicas paralelas muy apretadas. No hay núcleos ni estrías, ni tampoco signos de otras estructuras celulares. En su conclusión, identifica el tejido como músculo estriado. ¿Por qué está equivocado y cuál es el tejido que observa?

3. El tabaco destruye los cilios presentes en muchas células del epitelio respiratorio. ¿De qué manera favorece esto la «tos del fumador»?

4. ¿Por qué la isquemia (falta de oxígeno) del músculo cardíaco es más peligrosa para la vida que la del músculo estriado?

4

Sistema tegumentario



Introducción 89

Estructura y función de los tegumentos 90

Epidermis 90

Dermis 95

Hipodermis 97

Anejos cutáneos 98

Control local del funcionamiento tegumentario 105

Envejecimiento y sistema tegumentario 105

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir la estructura y las funciones de la piel y compararlas con las del tejido conjuntivo subyacente.
2. Enunciar los cuatro tipos celulares básicos presentes en la epidermis.
3. Explicar los factores que intervienen en las diferencias individuales y raciales de la piel, como su color.
4. Analizar los efectos de la radiación ultravioleta sobre la piel y el cometido desempeñado por los melanocitos en este sentido.
5. Examinar la organización de la dermis.
6. Exponer los componentes de la dermis, además de su irrigación y su inervación.
7. Explicar la estructura de la hipodermis (capa subcutánea) y su importancia.
8. Presentar la anatomía y las funciones de los anejos cutáneos: el pelo, las glándulas y las uñas.
9. Describir los mecanismos que generan el pelo y determinan su textura y su color.
10. Comparar y confrontar las glándulas sebáceas y las glándulas sudoríparas.
11. Describir el funcionamiento de las glándulas sudoríparas dentro del sistema tegumentario durante la regulación de la temperatura corporal.
12. Explicar la respuesta de la piel frente a las heridas y su modo de reparación.
13. Resumir los efectos del envejecimiento sobre la piel.

El **sistema tegumentario,** o *tegumentos,* está compuesto por la piel y sus derivados: el pelo, las uñas y las glándulas sudoríparas, sebáceas y mamarias. Probablemente se trate del sistema orgánico observado con una mayor atención y, pese a todo, también del más menospreciado. Es el único que vemos a diario, casi en su integridad. Como otras personas también lo contemplan, dedicamos mucho tiempo a mejorar la impresión que dan los tegumentos y sus estructuras asociadas. Lavarse la cara, cepillarse y cortarse el pelo, ducharse y ponerse maquillaje son actividades que modifican la apariencia o las propiedades de los tegumentos.

La mayor parte de las personas emplean el aspecto general de la piel para formarse una idea sobre el estado de salud global y la edad de un recién conocido; la piel sana muestra un lustre terso y la piel joven presenta pocas arrugas. Asimismo, también da indicios acerca de la situación emocional, como sucede al sonrojarse de vergüenza o al enrojecer de ira. Si algo marcha mal en la piel, sus efectos son notorios de inmediato. Incluso un proceso o una imperfección relativamente leve se advertirá de golpe, mientras que en otro sistema un problema más grave muchas veces pasa desapercibido. (Esta es la razón más probable por la que que los anuncios de televisión dedican tanto tiempo a la corrección del acné, un trastorno cutáneo pasajero sin importancia pero a la vista de todo el mundo, en vez de a vigilar la presión arterial, un problema cardiovascular mortal en potencia y que es más fácil de ignorar.) La piel también refleja la salud general de otros sistemas y los médicos pueden utilizar su aspecto como medio para detectar signos de una enfermedad subyacente. Por ejemplo, su color cambia por la presencia de una hepatopatía.

Sin embargo, la piel no sólo tiene un cometido estético. También protege del entorno; sus receptores comunican mucha información sobre el mundo exterior; y sirve para regular la temperatura corporal. A lo largo del examen sobre la anatomía funcional del sistema tegumentario realizado en este capítulo, aparecerán varias funciones importantes más.

Nota clínica

Exploración de la piel Cuando explora a un paciente, el dermatólogo recurre a una mezcla de interrogatorio diagnóstico («¿qué cosas han entrado en contacto con su piel recientemente?» o «¿cómo siente la piel?») y exploración física para llegar a una conclusión. La situación de la piel se observa a conciencia. Se toman notas sobre la presencia de **lesiones,** es decir, cambios en la estructura cutánea ocasionados por un traumatismo o por un proceso patológico. Las lesiones también se denominan **signos cutáneos,** porque son alteraciones visibles y medibles que afectan a la superficie cutánea.

Su distribución puede ser un dato importante para buscar la fuente del problema. Por ejemplo, en el *zóster (herpes zóster),* las vesículas cutáneas surgen en zona(s) inervada(s) por nervios sensitivos periféricos. Los anillos de lesiones escamosas (papulares) un poco elevadas son típicos de las micosis que se pueden asentar en el tronco, en el cuero cabelludo o en las uñas. También pueden tener un interés los signos descubiertos sobre la superficie de la piel, lo mismo que los correspondientes a los anejos cutáneos. Por ejemplo:

- Las uñas presentan una forma característica que puede variar debido a un trastorno subyacente. Un ejemplo sería las *acropaquias* de las manos, signo frecuente de *enfisema pulmonar* o de *insuficiencia cardíaca congestiva.* En estos procesos, las yemas de los dedos se ensanchan y las uñas adquieren una curvatura inconfundible.
- Las condiciones del pelo pueden ser un indicador sobre la salud global de la persona. Por ejemplo, se observa depigmentación y aspereza del mismo en la enfermedad carencial *kwashiorkor* por déficit de proteínas.

SISTEMA TEGUMENTARIO
• Protección física contra los peligros ambientales
• Termorregulación
• Síntesis y almacenamiento de reservas lipídicas
• Excreción
• Síntesis de vitamina D_3
• Información sensitiva
• Coordinación de la respuesta inmunitaria frente a los patógenos y los cánceres de piel
MEMBRANA CUTÁNEA
EPIDERMIS
• Protección de la dermis contra los traumatismos y los productos químicos
• Control de la permeabilidad cutánea, prevención de la pérdida de agua
• Prevención de la entrada de patógenos
• Síntesis de vitamina D_3
• Detección del tacto, la presión, el dolor y la temperatura mediante receptores sensitivos
• Coordinación de la respuesta inmunitaria frente a los patógenos y los cánceres de piel
DERMIS
CAPA PAPILAR
• Nutrición y sostén de la epidermis
CAPA RETICULAR
• Limitación contra la diseminación de los patógenos que hayan traspasado la epidermis
• Almacenamiento de reservas lipídicas
• Fijación de la piel a los tejidos más profundos
• Detección del tacto, la presión, el dolor, la vibración y la temperatura mediante receptores sensitivos
• Contribución vascular a la termorregulación
ANEJOS CUTÁNEOS
FOLÍCULOS PILOSOS
• Producción de pelo como protección del cráneo
• Producción de pelo como medio para la sensibilidad del tacto fino sobre la superficie general del cuerpo
GLÁNDULAS EXOCRINAS
• Contribución a la termorregulación
• Excreción de desechos
• Lubricación de la epidermis
UÑAS
• Protección y soporte para las yemas de los dedos

Figura 4.1 Organización funcional del sistema tegumentario
Diagrama sobre las relaciones entre los componentes del sistema tegumentario.

Estructura y función de los tegumentos [v. figura 4.1]

Los tegumentos cubren toda la superficie corporal, incluida la cara anterior de los ojos y las membranas del tímpano al fondo del conducto auditivo externo. En los orificios nasales, los labios, el ano, el orificio de la uretra y el de la vagina el tegumento se dirige hacia el interior, para continuarse de las mucosas que revisten las vías respiratorias, digestivas, urinarias y genitales, respectivamente. En estas zonas de transición, no existe ninguna solución de continuidad y las defensas permanecen íntegras y funcionales.

Los tegumentos contienen los cuatro tipos tisulares. Un epitelio cubre su superficie y los tejidos conjuntivos subyacentes aportan resistencia y flexibilidad. Los vasos sanguíneos que llevan en su interior nutren a las células epidérmicas. El tejido muscular liso de los tegumentos regula su diámetro y gradúa la posición del pelo que sobresale por fuera de la superficie corporal. El tejido nervioso controla estos músculos lisos y monitoriza a los receptores sensitivos que suministran las sensaciones de tacto, presión, temperatura y dolor.

Los tegumentos cumplen numerosas funciones, como la protección física, la regulación de la temperatura corporal, la excreción (secreción), la nutrición (síntesis), la sensibilidad y la defensa inmunitaria. La figura 4.1 recoge la organización funcional del sistema tegumentario, que está integrado por dos elementos fundamentales, la *piel* (membrana cutánea) y los *anejos cutáneos.*

1. La **piel** tiene dos componentes, el epitelio superficial, llamado **epidermis** (*epi-,* encima + *derma,* piel) y los tejidos conjuntivos subyacentes correspondientes a la **dermis.** En la profundidad de esta última, el tejido conjuntivo laxo de la capa subcutánea, también denominado fascia superficial o *hipodermis,* separa los tegumentos de la fascia profunda que rodea a otros órganos, como los músculos y los huesos [p. 74]. Aunque no se suele considerar parte de los tegumentos, la estudiaremos en este capítulo debido a sus amplias interconexiones con la dermis.
2. Los **anejos cutáneos** comprenden el pelo, las uñas y toda una serie de glándulas exocrinas pluricelulares. Estas estructuras están situadas en la dermis y protruyen en dirección a la superficie a través de la epidermis.

Epidermis [v. figura 4.2]

La epidermis de la piel está constituida por un epitelio pavimentoso estratificado, tal como aparece en la figura 4.2. En ella hay cuatro tipos de células: *queratinocitos, melanocitos, células de Merkel* y *células de Langerhans.* Las células epiteliales más abundantes, los **queratinocitos,** forman varias capas diferentes. En una microfotografía óptica, muchas veces es difícil ver los límites precisos entre ellos. En la *piel gruesa,* presente en la palma de las manos y la planta de los pies, pueden distinguirse cinco capas. En la *piel fina* que cubre el resto del cuerpo sólo se aprecian cuatro. Los melanocitos son células productoras de pigmento también situadas en la epidermis. Las células de Merkel cumplen su función en la detección de las sensaciones, mientras que las de Langerhans son células fagocíticas. Todos estos tipos se encuentran dispersos entre los queratinocitos.

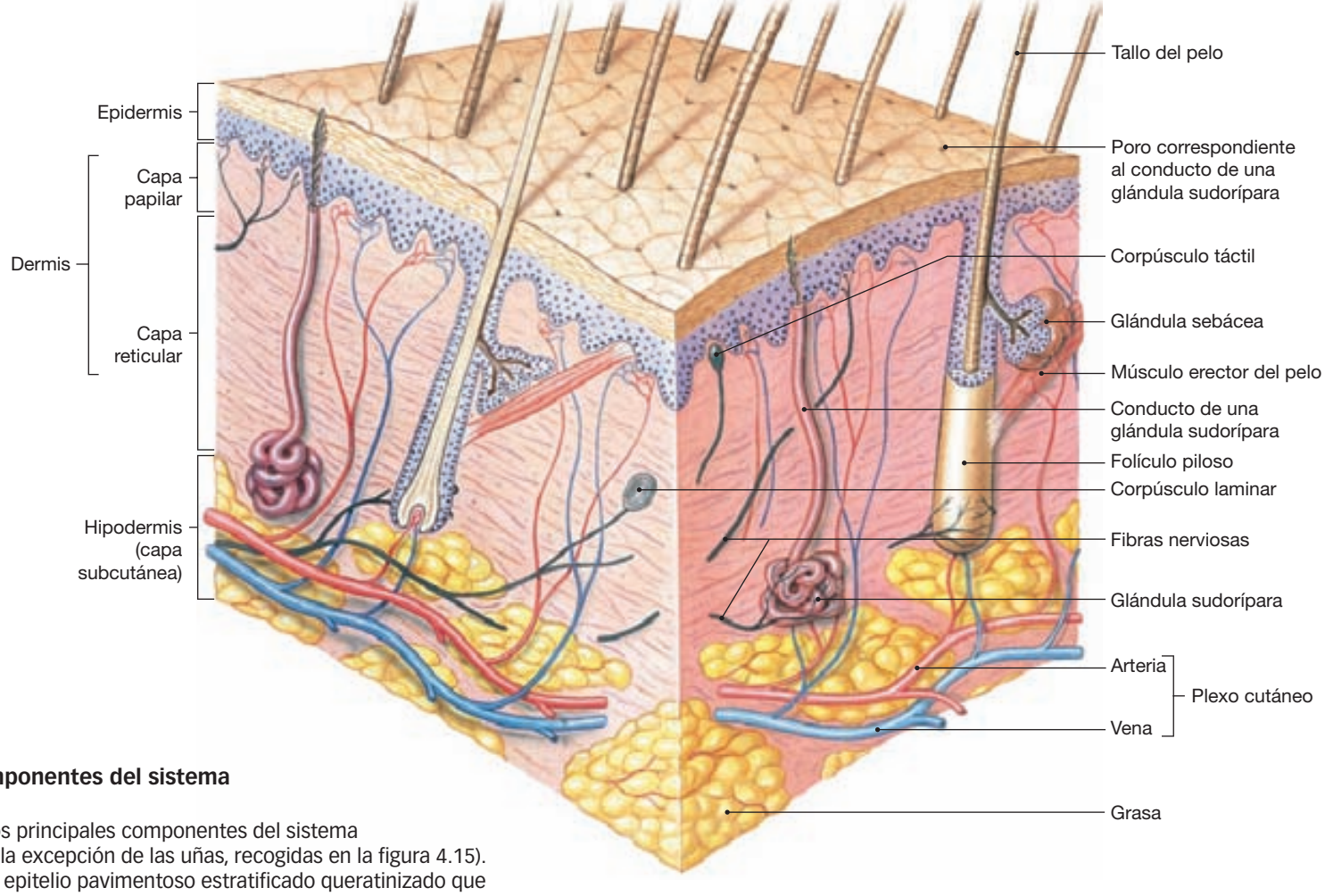


Figura 4.2 Componentes del sistema tegumentario

Relaciones entre los principales componentes del sistema tegumentario (con la excepción de las uñas, recogidas en la figura 4.15). La epidermis es un epitelio pavimentoso estratificado queratinizado que recubre la dermis, una región de tejido conjuntivo que presenta glándulas, folículos pilosos y receptores sensitivos. Bajo la dermis está la hipodermis, que contiene grasa y los vasos sanguíneos para irrigar la dermis.

Capas de la epidermis [v. figura 4.3 y tabla 4.1]

Para la descripción de las capas observadas en un corte de piel gruesa, acuda a la **figura 4.3** y la tabla 4.1. Desde la lámina basal hacia la superficie epitelial externa, encontramos el *estrato germinativo,* el *estrato espinoso,* el *estrato granuloso,* el *estrato lúcido* y el *estrato córneo.*

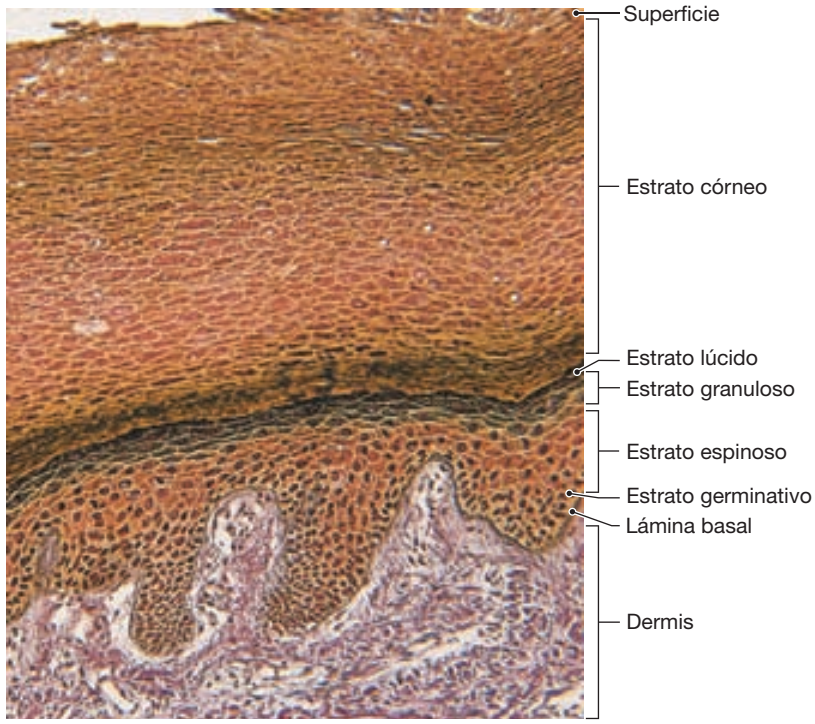


Figura 4.3 Estructura de la epidermis
Microfotografía óptica que ofrece las principales capas celulares estratificadas de la epidermis en la piel gruesa.

TABLA 4.1 Capas de la epidermis

Capa	Características
Estrato germinativo	Capa basal más interna
	Fija a la lámina basal
	Contiene células progenitoras epidérmicas, melanocitos y células de Merkel
Estrato espinoso	Los queratinocitos están ligados entre sí por desmosomas unidos a las tonofibrillas del citoesqueleto
	En esta capa se dividen algunos queratinocitos
	Muchas veces hay células de Langerhans y melanocitos
Estrato granuloso	Los queratinocitos producen queratohialina y queratina
	Cuando las células se adelgazan y aplanan, aparecen fibras de queratina
	Las membranas celulares adquieren más grosor poco a poco, los orgánulos se desintegran y las células mueren
Estrato lúcido	Tiene el aspecto de una capa «vítrea» sólo en la piel gruesa
Estrato córneo	Múltiples capas de queratinocitos muertos aplanados y entrelazados
	En general, relativamente seca
	Resistente al agua, pero no impermeable
	Permite una lenta pérdida de agua por transpiración insensible

Estrato germinativo

La capa más interna de la epidermis es el **estrato germinativo** o *estrato basal.* Esta estructura se encuentra sujeta con firmeza a la lámina basal que separa la epidermis del tejido conjuntivo laxo correspondiente a la dermis contigua. Aquí predominan unas células progenitoras grandes, o *células basales.* Su división sustituye los queratinocitos más superficiales que se pierden o se desprenden de la superficie epitelial. El tono moreno de la piel deriva de la actividad sintética de los *melanocitos,* células pigmentarias expuestas en el capítulo 3 [p. 62]. Los melanocitos están esparcidos entre las células Basales del estrato germinativo. Estas células poseen numerosas prolongaciones citoplásmicas que inyectan *melanina,* un pigmento negro, marrón amarillento o marrón, en los queratinocitos de esta capa y en las capas más superficiales. El cociente entre los melanocitos y las células germinativas oscila de 1:4 a 1:20, según la región examinada. Son más abundantes en las mejillas y en la frente, en los pezones y en la región genital. Las diferencias en el color de la piel entre las personas y las razas obedecen a los distintos grados de actividad melanocítica, no a la cantidad de melanocitos presentes. Hasta las personas *albinas* tienen un número normal de melanocitos. (El albinismo es un proceso hereditario en el que los melanocitos son incapaces de producir melanina; afecta más o menos a una persona de cada 10.000.)

Las superficies cutáneas lampiñas contienen unas células epiteliales especializadas que se denominan **células de Merkel.** Aparecen entre las células más profundas del estrato germinativo. Son unos elementos sensibles al tacto y al comprimirlas, liberan sustancias químicas que estimulan las terminaciones nerviosas sensitivas, lo que aporta alguna información sobre los objetos que entran en contacto con la piel. (Existen muchos más tipos de receptores para el tacto, pero están situados en la dermis y se mencionarán en los apartados posteriores. Todos los receptores tegumentarios se describen en el capítulo 18).

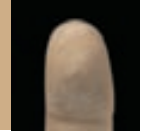
Estrato espinoso

Cada vez que se divide una célula progenitora, una de las células hijas se ve empujada hacia la siguiente capa más superficial, el **estrato espinoso** («capa con espinas»), donde empieza a diferenciarse en un queratinocito. El estrato espinoso muestra un espesor de varias células. Cada queratinocito contiene unos haces de filamentos proteicos que atraviesan toda la célula. Estos haces, llamados *tonofibrillas,* comienzan y acaban en los desmosomas (mácula de adhesión) que conectan al queratinocito con sus vecinos inmediatos. Por tanto, las tonofibrillas actúan como un tirante transversal, que consolida y refuerza las uniones intercelulares. Todos los queratinocitos del estrato espinoso se mantienen ligados entre sí por esta red de desmosomas y tonofibrillas entrelazadas. Las técnicas histológicas corrientes, utilizadas en la preparación del tejido para su examen al microscopio, encogen el citoplasma pero dejan intactas las tonofibrillas y los desmosomas. Esto hace que las células parezcan acericos en miniatura, y es la razón de que los primeros histólogos utilizaran el término «capa con espinas» en sus descripciones.

Parte de las células que llegan a esta capa desde el estrato germinativo siguen dividiéndose, lo que aumenta más el grosor del epitelio. Los melanocitos son frecuentes a este nivel, lo mismo que las **células de Langerhans,** aunque estas últimas no pueden distinguirse en las preparaciones histológicas convencionales. Las células de Langerhans, que corresponden a un 3%-8% de todas las que forman la epidermis, son más habituales en la porción superficial del estrato espinoso. Su función es importante en el inicio de la respuesta inmunitaria contra dos elementos: 1) los patógenos que hayan atravesado las capas superficiales de la epidermis, y 2) las células de los cánceres de piel.

Estrato granuloso

La capa celular superficial al estrato espinoso es llamada **estrato granuloso** («capa granular»). El estrato granuloso está compuesto por los queratinocitos desplazados desde el estrato espinoso. En el momento en que las células llegan a esta capa, ya han empezado a fabricar grandes cantidades de las proteínas



Nota clínica

Trastornos de la producción de queratina No todos los signos cutáneos son el resultado de una infección, un traumatismo o una alergia; algunos corresponden a una respuesta normal frente a las agresiones ambientales. Una reacción frecuente es la producción excesiva de queratina, proceso llamado **hiperqueratosis.** Los efectos más evidentes, los callos y las durezas, se observan sin problemas. Los callos son engrosamientos focales que aparecen en zonas de piel ya gruesa, como la palma de las manos o la planta de los pies, y responden a la erosión y a una deformación crónica. Las durezas son zonas más circunscritas donde la fabricación de demasiada queratina ocurre en regiones de piel delgada o entre los dedos del pie.

En la **psoriasis,** las células progenitoras del estrato germinativo presentan una actividad excepcional, lo que origina la hiperqueratosis de unas zonas específicas, en general el cuero cabelludo, los codos, las palmas, las plantas, las ingles o las uñas. En condiciones normales, una célula progenitora se divide una vez cada 20 días, pero en la psoriasis puede hacerlo cada día y medio. La queratinización es anormal y manifiesta unos rasgos incompletos característicos en el momento en el que se desprenden las capas externas. Las zonas afectadas presentan una base enrojecida, cubierta por un número enorme de pequeñas escamas plateadas que no dejan de soltarse. La psoriasis afecta a un 20%-30% de las personas que muestran una tendencia hereditaria a desarrollar este proceso. Alrededor del 5% de la población estadounidense tiene esta enfermedad en algún grado, muchas veces agravada por el estrés y la ansiedad. La mayoría de los casos son indoloros y controlables, pero no curables.

La **xerosis,** o piel seca, es un síntoma frecuente entre los ancianos y las personas que residen en climas áridos. En este caso, las membranas plasmáticas de la capa externa de la piel se deterioran poco a poco y el estrato córneo pasa a ser más una colección de escamas que una sola lámina. La superficie escamosa resulta mucho más permeable que una capa íntegra de queratina y aumenta la velocidad de la transpiración insensible. En las personas con una xerosis grave, su valor puede aumentar hasta 75 veces.

La presión ejercida sobre la piel, que es otro tipo de agresión, puede producir *úlceras por decúbito* o *escaras de decúbito. Decúbito* significa «tumbarse»; una *úlcera* es la pérdida localizada de una zona de epitelio. Las úlceras por decúbito surgen donde los vasos sanguíneos de la dermis quedan comprimidos contra las estructuras más profundas, como los huesos o las articulaciones, de modo que la circulación local se reduce lo suficiente como para alterar los tejidos a su cargo.

queratohialina y **queratina** (*keros,* cuerno). La primera se acumula en gránulos electrodensos llamados *gránulos de queratohialina.* Estos forman una matriz intracelular en torno a los filamentos de queratina. A medida que se generan grandes filamentos de queratina en su interior, los queratinocitos se adelgazan y aplanan poco a poco. Las membranas celulares aumentan de grosor y pierden permeabilidad. A continuación, se desintegran los núcleos y otros orgánulos, las células mueren y su posterior deshidaratción crea una capa de fibras de queratina muy entrelazadas, que se encuentra rodeada de queratohialina y encajonada entre membranas fosfolipídicas.

La velocidad de síntesis de la queratohialina y la queratina en los queratinocitos se ve influida muchas veces por factores ambientales. El aumento del roce sufrido por la piel estimula su aceleración en los queratinocitos del estrato granuloso. Esto da lugar a un engrosamiento localizado de la piel y a la formación de un *callo* (también llamado *clavo),* como el que se observa en la palma de las manos de los levantadores de pesas o en los nudillos de los boxeadores y los alumnos de kárate.

En el ser humano, la queratina constituye el componente estructural básico del pelo y de las uñas. Sin embargo, es un material muy versátil y en otros vertebrados forma las garras de los perros y los gatos, los cuernos del ganado y los rinocerontes, las plumas de las aves, las escamas de las serpientes, las barbas de las ballenas y diversas estructuras epidérmicas también interesantes.

Estrato lúcido

En la piel gruesa de las palmas y de las plantas, se observa un **estrato lúcido** («capa transparente») vítreo que cubre el estrato granuloso. Las células de esta capa tienen forma aplanada y están muy apretadas y llenas de queratina, pero no se tiñen bien en las preparaciones histológicas habituales.

Estrato córneo

El **estrato córneo** ocupa la superficie de la piel gruesa y fina. Consta de 15-30 capas de células aplanadas, muertas y dispuestas de forma entrelazada. Como las interconexiones creadas en el estrato espinoso permanecen intactas, las células suelen desprenderse formando grandes grupos o láminas, en vez de hacerlo separadas.

Cuando un epitelio contiene una cantidad abundante de queratina, se dice que está **queratinizado** o *cornificado* (*cornu-,* cuerno + *facere,* hacer). En condiciones normales, el estrato córneo se encuentra relativamente seco, lo que vuelve inadecuadas las condiciones de su superficie para el crecimiento de muchos microorganismos. La conservación de esta barrera conlleva el recubrimiento de dicha superficie por las secreciones de las glándulas tegumentarias (sebáceas y sudoríparas, estudiadas en un apartado posterior). El proceso de **queratinización** sucede en todas las superficies de la piel que están al descubierto, excepto en la cara anterior de los ojos.

Aunque el estrato córneo resiste frente al agua, no es impermeable y el contenido de los líquidos intersticiales penetra lentamente hasta la superficie para evaporarse en el aire a su alrededor. Este proceso, llamado transpiración insensible, explica la pérdida de unos 500 mL de agua diarios.

Una célula tarda 15-30 días en pasar desde el estrato germinativo hasta el estrato córneo. Las células muertas suelen quedarse unas 2 semanas más en el estrato córneo expuesto al exterior antes de desprenderse o verse arrastradas. Por tanto, las porciones más profundas del epitelio, y todos los demás tejidos subyacentes, siempre están protegidas por una barrera integrada por células muertas, duraderas en el tiempo y de carácter prescindible.

La naturaleza protectora de la piel es más fácil de ver y de entender cuando han desaparecido grandes áreas después de sufrir una lesión, como sucede en una quemadura grave. Tras las quemaduras de segundo grado (de espesor parcial) o de tercer grado (de espesor total), los facultativos deben preocuparse por problemas médicos, como la absorción de sustancias tóxicas, la pérdida de líquidos en exceso y la infección de la zona quemada, producidos al quedar suprimida la función protectora de la piel.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Una descamación de células excesiva desde la capa externa de la piel en el cuero cabelludo genera caspa. ¿Cuál es el nombre de esta capa cutánea?
2. Al levantar un trozo de madera, una astilla perfora la palma de la mano y se deposita en la tercera capa de la epidermis. Identifique esta capa.
3. ¿Cuáles son las dos subdivisiones principales del sistema tegumentario y qué componentes tiene cada una?
4. ¿Qué es la queratinización? ¿Cuáles son las fases de este proceso?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Administración transdérmica de fármacos Los fármacos transportados en aceites u otros excipientes liposolubles pueden atravesar la epidermis. Su paso es lento, sobre todo en el estrato córneo a lo largo de las capas formadas por membranas celulares, pero una vez que llegan a los tejidos subyacentes, se absorberán hacia la circulación. Una técnica útil consiste en poner el fármaco en un parche adhesivo sobre una zona de piel fina. Para compensar su velocidad de difusión relativamente lenta, el parche debe contener una concentración elevadísima del producto. Este procedimiento, llamado *administración transdérmica de fármacos,* ofrece la ventaja de que un solo parche puede actuar varios días, lo que vuelve innecesario el consumo diario de pastillas. La *escopolamina,* una sustancia que influye sobre el sistema nervioso, se administra por vía transdérmica para evitar las náuseas asociadas a la cinetosis. La *nitroglicerina* transdérmica puede utilizarse para mejorar la circulación sanguínea en el músculo cardíaco y prevenir un infarto de miocardio. Los *estrógenos* transdérmicos se emplean para reducir la osteoporosis en las mujeres posmenopáusicas. La *nicotina* transdérmica puede usarse para controlar el deseo de fumar y facilitar el abandono del tabaco.

Piel gruesa y piel fina [v. figura 4.4]

En las descripciones de la piel, los términos *gruesa* y *fina* se refieren al espesor relativo de la epidermis, no de los tegumentos en su conjunto. La mayor parte del cuerpo está cubierta de **piel fina.** En una muestra histológica, sólo presenta cuatro capas debido a la ausencia concreta del estrato lúcido. En este caso, la epidermis apenas tiene un espesor de 0,08 mm, y el estrato córneo sólo tiene unas pocas capas celulares de profundidad (v. figura 4.4a,b). La **piel gruesa** de la palma de las manos puede estar cubierta por 30 capas de células queratinizadas o más. Por esta razón, la epidermis de la zona presenta las cinco capas y su espesor puede llegar a ser seis veces mayor que el de la que cubre la superficie general del cuerpo (v. figura 4.4c).

Crestas epidérmicas [v. figuras 4.4/4.5]

El estrato germinativo de la epidermis forma **crestas epidérmicas** que penetran hacia la dermis, lo que amplía la zona de contacto entre ambas regiones. Las prolongaciones que ascienden desde la dermis hacia la epidermis, llamadas **papilas dérmicas** (*papilla,* montículo con forma de pezón), se introducen entre crestas contiguas, tal como recoge la figura 4.4a,c.

Los contornos de la superficie cutánea siguen los mismos patrones que las crestas, y varían desde pequeñas clavijas cónicas (en la piel delgada) hasta las complejas espirales observadas en la piel gruesa de las palmas y de las plantas. Las crestas de estas dos zonas amplían la superficie de la piel y aumentan el rozamiento, lo que favorece la seguridad de la prensión. Las formas de cada cresta vienen determinadas por factores genéticos: son distintas en cada persona y no cambian en ningún momento de la vida. Por tanto, su configuración en las yemas de los dedos, que forma las huellas dactilares (v. figura 4.5), puede emplearse para identificar a los individuos, y así se ha aplicado en las investigaciones criminales durante más de un siglo.

Color de la piel [v. figura 4.6]

El color de la epidermis se debe a una combinación de los siguientes factores: 1) el riego sanguíneo de la dermis; 2) el espesor del estrato córneo, y 3) las cantidades variables de dos pigmentos: *caroteno* y *melanina.* La sangre contiene glóbulos rojos que transportan la proteína hemoglobina. Al ligarse al oxígeno, la hemoglobina adquiere un color rojo brillante, que confiere a los vasos sanguíneos de la dermis un tinte rojizo, más fácil de ver en las personas de pigmentación clara. Cuando estos vasos se dilatan, como sucede en una inflamación, el tono rojo se acentúa mucho más.

La cantidad de melanina y de caroteno producida se encuentra bajo control genético. Las variaciones en la expresión de estos genes hereditarios determinan el color de la piel de una persona.

Riego sanguíneo de la dermis Cuando la circulación sanguínea experimenta una reducción transitoria, la piel se vuelve relativamente pálida; un paciente de raza blanca asustado puede «quedarse blanco» por una súbita disminución de la irrigación cutánea. Si se mantiene la disminución del aporte circulatorio, la sangre de los vasos superficiales pierde oxígeno y la hemoglobina cambia de color, para adquirir un tono mucho más oscuro de rojo. Visto desde la superficie, la piel adopta una coloración azulada llamada **cianosis** (*cyanos,* azul). Sea cual sea el color de una persona, la cianosis resulta más patente en las zonas de piel fina, como los labios o debajo de las uñas. Su aparición puede responder a una situación de frío intensísimo o ser la consecuencia de trastornos circulatorios o respiratorios, como la insuficiencia cardíaca o el asma grave.

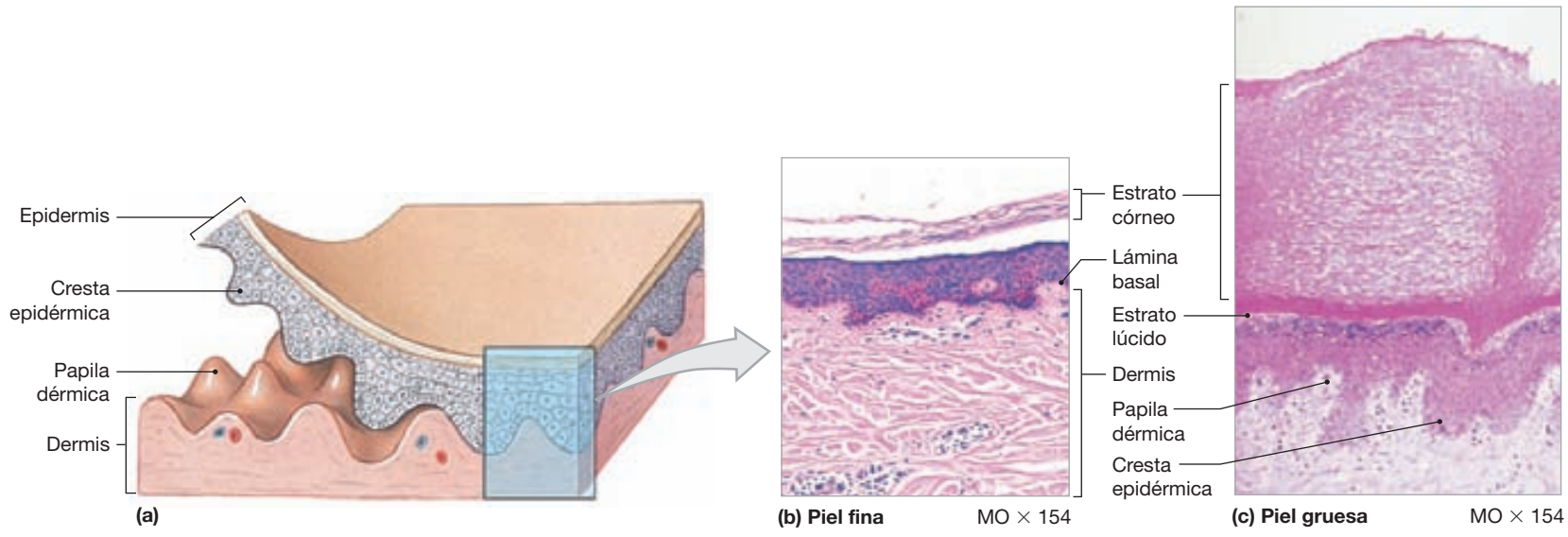


Figura 4.4 Piel fina y piel gruesa
La epidermis es un epitelio pavimentoso estratificado, que varía de grosor. **(a)** Organización básica de la epidermis. Su espesor cambia radicalmente según el lugar de la muestra, sobre todo en el estrato córneo. **(b)** La piel delgada cubre la mayor parte de la superficie corporal al descubierto. (Durante el corte, el estrato córneo se ha desprendido del resto de la epidermis). **(c)** La piel gruesa cubre la superficie de las palmas y de las plantas.

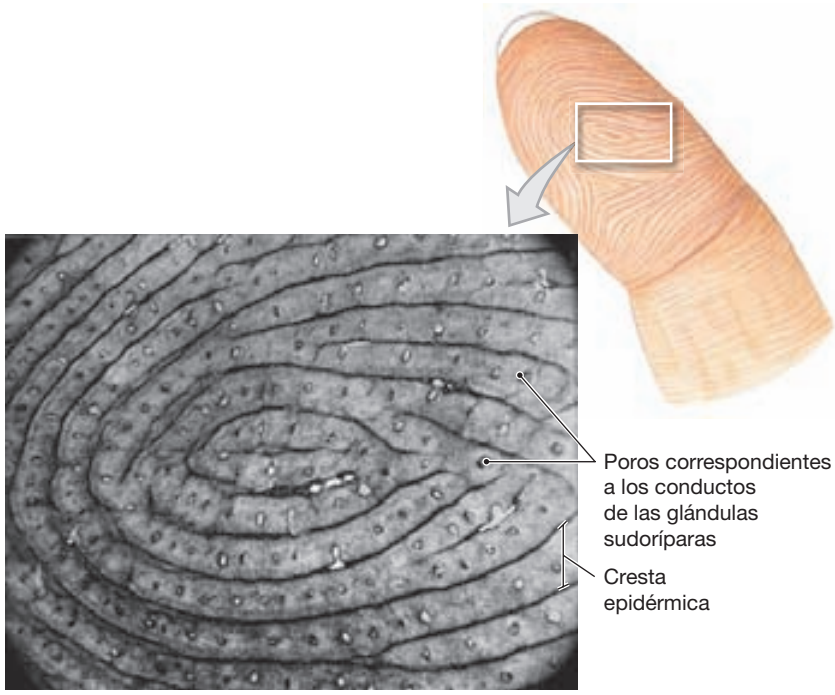


Figura 4.5 Crestas epidérmicas de la piel gruesa
Las huellas dactilares revelan el patrón seguido por las crestas epidérmicas en la piel gruesa. Esta microfotografía electrónica de barrido muestra las crestas de una huella dactilar. Los hoyos son los poros correspondientes a los conductos de las glándulas sudoríparas (MEB × 25). *[© R. G. Kessel y R. H. Kardon, «Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy», W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.]*

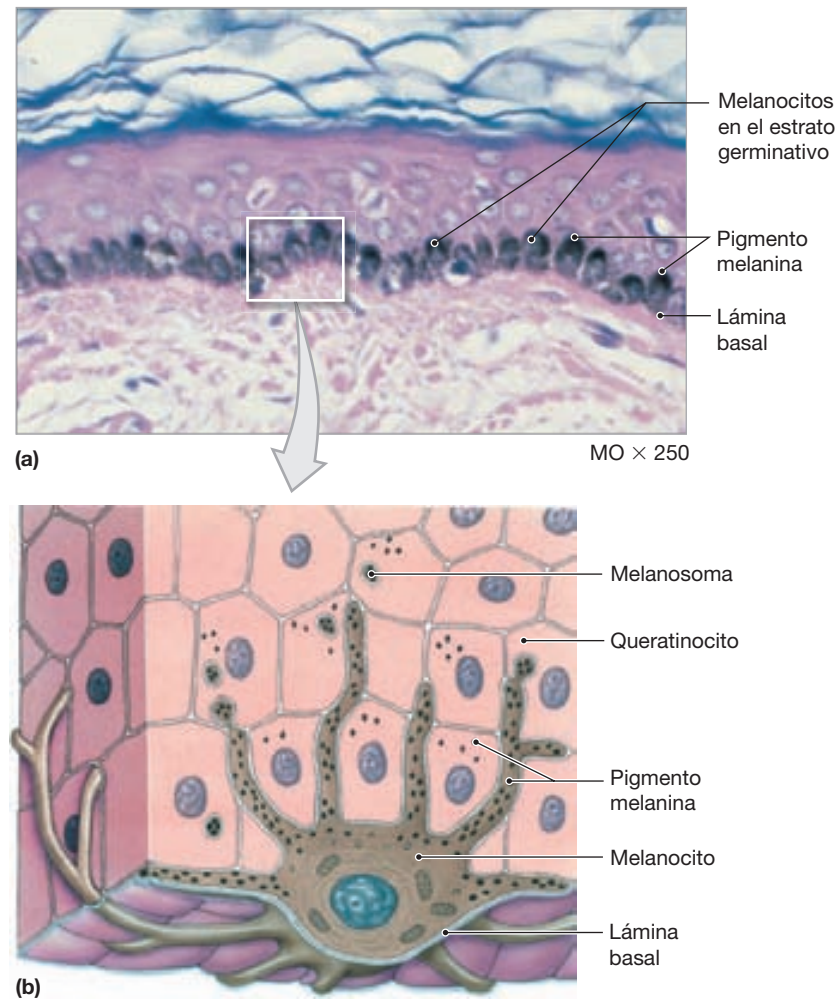


Figura 4.6 Melanocitos
La microfotografía **(a)** y el dibujo adjunto **(b)** indican la localización y la orientación de los melanocitos en el estrato germinativo de una persona de piel oscura.

Contenido de pigmentos en la epidermis El **caroteno** es un pigmento amarillo-naranja presente en diversas hortalizas de color naranja, como las zanahorias, el maíz y las calabazas. Este compuesto puede transformarse en vitamina A, sustancia necesaria para la conservación del epitelio y la síntesis de los pigmentos visuales en los fotorreceptores de los ojos. Normalmente, el caroteno se acumula dentro de los queratinocitos, y resulta especialmente evidente en las células deshidratadas del estrato córneo y en el panículo adiposo. La **melanina** se produce y se almacena en los melanocitos (**v. figura 4.6**). La formación de este pigmento negro, marrón amarillento o marrón tiene lugar en unas vesículas intracelulares llamadas *melanosomas.* Estas se transfieren intactas a los queratinocitos y los tiñen de manera transitoria, hasta quedar destruidas por los lisosomas. El color se aclara poco a poco en las células de las capas más superficiales a medida que baja el número de melanosomas íntegros. En las personas de piel clara, el paso de los melanosomas sucede en los estratos germinativo y espinoso, y las células de las capas más superficiales pierden su pigmentación. En las de piel oscura, los melanosomas son más grandes y su transmisión también puede ocurrir incluso en el estrato granuloso; por tanto, la pigmentación va a ser más oscura y persistente. Los pigmentos de la melanina sirven para evitar las lesiones cutáneas al absorber la **radiación ultravioleta (UV)** de la luz solar. Es necesario un poco de esta radiación porque la piel la precisa para transformar un precursor esteroideo relacionado con el colesterol en un miembro perteneciente a la familia hormonal denominada en conjunto vitamina D[1]. La vitamina D hace falta para la absorción normal del calcio y el fósforo en el intestino delgado; su suministro insuficiente altera la conservación y el crecimiento del hueso. Sin embargo, demasiada radiación UV puede dañar a los cromosomas y ocasionar una afectación tisular generalizada, parecida a la que originan las quemaduras leves o moderadas. La melanina de la epidermis protege de manera global la dermis subyacente. Dentro de cada melanocito, los melanosomas son más abundantes en torno al núcleo de la célula. Esto incrementa las opciones de absorber la radiación UV antes de que pueda perjudicar el ADN nuclear.

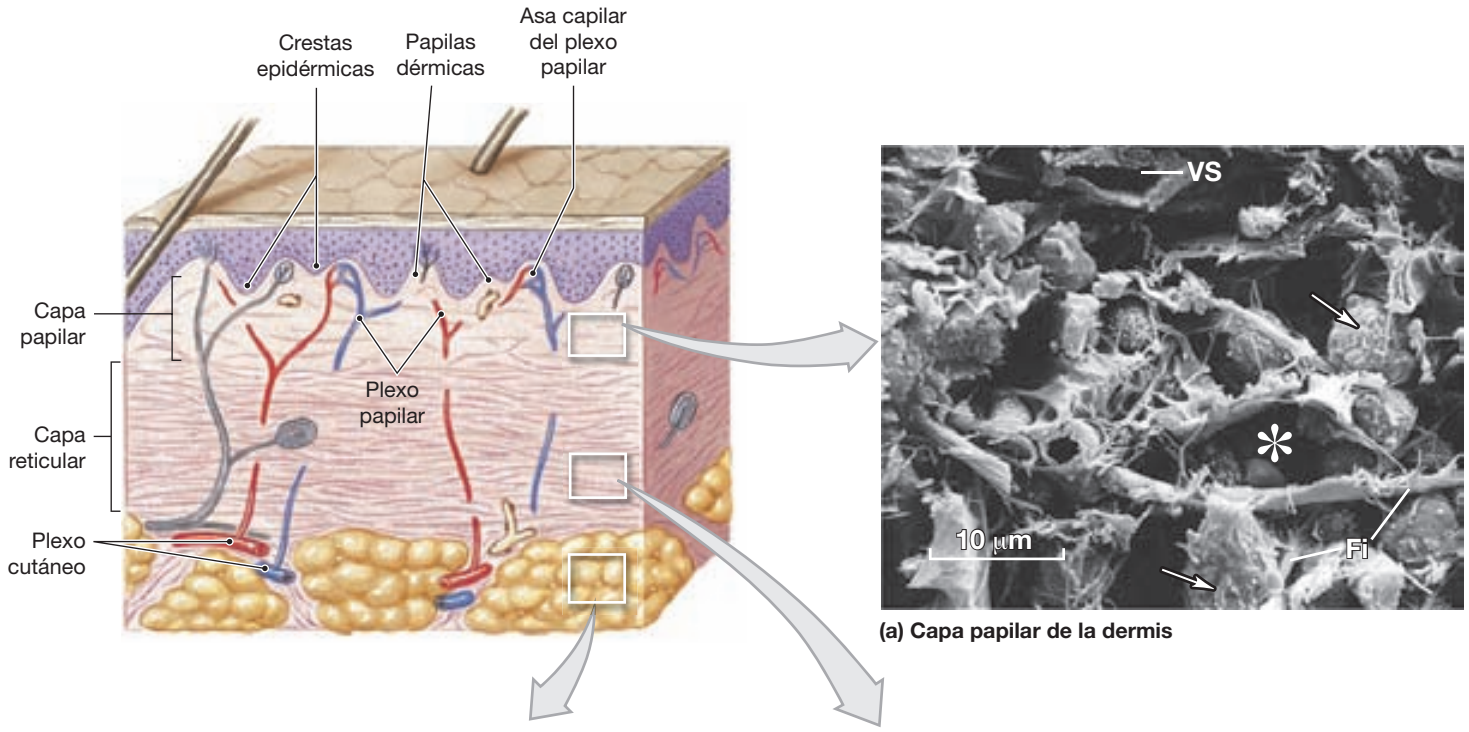
Los melanocitos responden a la exposición UV acelerando su velocidad de síntesis y transferencia de melanina. Esto es lo que produce el bronceado, pero la respuesta no tiene la rapidez requerida para evitar una quemadura solar el primer día de playa; tarda unos 10 días en producirse. Todo el mundo puede quemarse con el sol, pero las personas de piel oscura de partida poseen una protección mayor contra los efectos de la radiación UV. Su exposición repetida lo suficiente como para estimular el bronceado, puede desembocar en una lesión a largo plazo de la piel, que afecte a la dermis y la epidermis. En la dermis, la alteración de los fibrocitos provoca anomalías en la estructura del tejido conjuntivo y arrugas prematuras. En la epidermis, puede ocasionarse un cáncer de piel por el daño sufrido en los cromosomas de las células germinativas o los melanocitos (v. «Nota clínica» en la p. 96).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Describa la diferencia fundamental entre la piel gruesa y la fina.
2. Algunos delincuentes se raspan las yemas de los dedos para no dejar huellas dactilares identificables. Esta acción, ¿las eliminaría definitivamente? ¿Por qué sí o por qué no?
3. Señale cuál es el origen del color de la epidermis.
4. Describa la relación que guardan las crestas epidérmicas con las papilas dérmicas.

Véase «Respuestas» al final del libro.

[1]En concreto, la vitamina D_3 o *colecalciferol,* que sufre una modificación posterior en el hígado y en los riñones antes de circular en su forma hormonal activa, el *calcitriol.*



(a) Capa papilar de la dermis

(c) Hipodermis

(b) Capa reticular de la dermis

Figura 4.7 Estructura de la dermis y la hipodermis
La dermis es una capa de tejido conjuntivo profunda a la epidermis; la hipodermis (capa subcutánea) es la siguiente capa de tejido conjuntivo profunda a la dermis. **(a)** La capa papilar de la dermis consta de un tejido conjuntivo que contiene numerosos vasos sanguíneos (VS), fibras (Fi) y macrófagos (flechas). Los espacios vacíos, como el marcado con un asterisco, estarían rellenos de sustancia fundamental líquida (MEB × 649). **(b)** La capa reticular de la dermis presenta tejido conjuntivo denso irregular (MEB × 1.340). **(c)** La hipodermis tiene una gran cantidad de adipocitos dentro de un armazón formado por fibras de tejido conjuntivo laxo (MEB × 268). *[(a) © R. G. Kessel y R. H. Kardon, «Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy», W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.]*

Dermis [v. figura 4.2]

La dermis ocupa una posición profunda a la epidermis (**v. figura 4.2**, p. 90) y tiene dos componentes principales: una *capa papilar* superficial y una *capa reticular* más profunda.

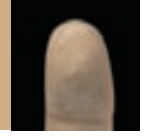
Organización de la dermis [v. figuras 4.4/4.7]

La **capa papilar** superficial consta de tejido conjuntivo laxo (**v. figura 4.7a**). Esta región contiene los capilares que irrigan la epidermis y los axones de las neuronas sensitivas que controlan los receptores de esta capa y de la epidermis. Su nombre deriva de las papilas dérmicas que sobresalen entre las crestas de la epidermis (**v. figura 4.4**).

La **capa reticular** más profunda está compuesta por fibras distribuidas en una malla entrecruzada de tejido conjuntivo denso irregular que rodea a los vasos sanguíneos, los folículos pilosos, los nervios, las glándulas sudoríparas y las glándulas sebáceas (**v. figura 4.7b**). Su nombre procede de la disposición entretejida que presentan los haces de fibras colágenas en esta región (*reticulum*, pequeña red). Parte de las fibras colágenas de la capa reticular se extienden hasta la capa papilar y unen ambas entre sí. Por tanto, la línea divisoria entre estas capas se encuentra poco definida. Las fibras colágenas de la capa reticular también llegan hasta la hipodermis subyacente (**v. figura 4.7c**).

Arrugas, estrías y líneas de incisión [v. figura 4.8]

El entrecruzamiento de las fibras colágenas en la capa reticular aporta una considerable resistencia frente a la tensión, y la amplia colección de fibras



Nota clínica

Cánceres de piel Casi todo el mundo tiene varias lesiones benignas en la piel; las pecas y los lunares son dos ejemplos al respecto. Los cánceres de piel representan la forma más frecuente de cáncer y los más habituales están ocasionados por una exposición prolongada a la luz solar.

El **carcinoma basocelular** es un tumor maligno originado en la capa germinativa (basal). Es el cáncer de piel más corriente, y más o menos dos tercios de ellos surgen en zonas sometidas a una exposición prolongada a la radiación UV. Hace poco tiempo, estos carcinomas se han relacionado con un gen hereditario.

Los **carcinomas espinocelulares o epidermoides** son menos comunes, pero se encuentran prácticamente limitados por completo a las regiones cutáneas expuestas al sol. Estos carcinomas pocas veces metastatizan y los basocelulares no lo hacen casi nunca, por lo que la mayoría de las personas logran sobrevivir. Su tratamiento habitual consiste en la extirpación quirúrgica del tumor, y al menos el 95% de los pacientes siguen vivos al cabo de los 5 años de la operación (este dato estadístico, el índice de supervivencia a los 5 años, es un método habitual para comunicar el pronóstico a largo plazo). En comparación con estos dos cánceres frecuentes y que rara vez crean un riesgo vital, los **melanomas malignos** son extremadamente peligrosos. En este proceso, los melanocitos cancerosos crecen con rapidez y metastatizan por el sistema linfático. Las perspectivas de supervivencia a largo plazo son alarmantemente diferentes, en función del momento en que se realice su diagnóstico. Si el trastorno está localizado, el índice de supervivencia al cabo de 5 años es del 90%; si está extendido, este valor disminuye hasta el 14%.

Las personas de piel blanca que viven en los trópicos son más vulnerables a todas las formas de cáncer de piel, porque sus melanocitos no logran protegerlos de la radiación ultravioleta. La afectación por el sol puede prevenirse si se evita su exposición durante las horas del mediodía y mediante el uso de la ropa, un sombrero y una pantalla solar (no un bronceador ni un filtro solar), conducta que también retrasa los problemas estéticos derivados de los surcos y las arrugas. Cualquier persona que cuente con pasar un tiempo al aire libre expuesta al sol debería elegir un bloqueador solar de amplio espectro con un factor de protección solar (FPS) de 15 como mínimo; es preferible que los rubios, los pelirrojos y las personas de piel muy blanca salgan con un factor de protección solar de 20 a 30 (también se deberían recordar estos riesgos antes de meterse un rato en un solárium o en una cama para bronceado). Recientemente, el empleo de los filtros solares ha cobrado aún mayor importancia por la destrucción del ozono en la parte alta de la atmósfera debido a las emisiones industriales. El ozono absorbe la radiación UV antes de que alcance la superficie de la tierra y, al hacerlo, colabora con los melanocitos para prevenir el cáncer de piel. Australia, que es el territorio más afectado por la reducción de la capa de ozono cerca del Polo Sur (el «agujero de ozono»), ya está comunicando una incidencia mayor de cánceres de piel.

elásticas existente permite a la dermis estirarse y retraerse repetidas veces al efectuar los movimientos normales. El envejecimiento, las hormonas y los efectos destructivos de la radiación ultravioleta reducen su espesor y su flexibilidad, lo que provoca la aparición de arrugas y la depresión de ciertas zonas de la piel. Muchas veces, la profunda distorsión que sufre la dermis en el abdomen durante la gestación o después de atravesar una fase de gran obesidad supera la capacidad elástica de la piel. En estas circunstancias, las fibras elásticas y colágenas se rompen, y aunque se estire en su conjunto, ya no retrocede ni recupera su tamaño primitivo una vez pasado el parto o después de seguir una dieta rigurosa. Así pues, la piel se arruga y se pliega, lo que genera una red de **estrías.**

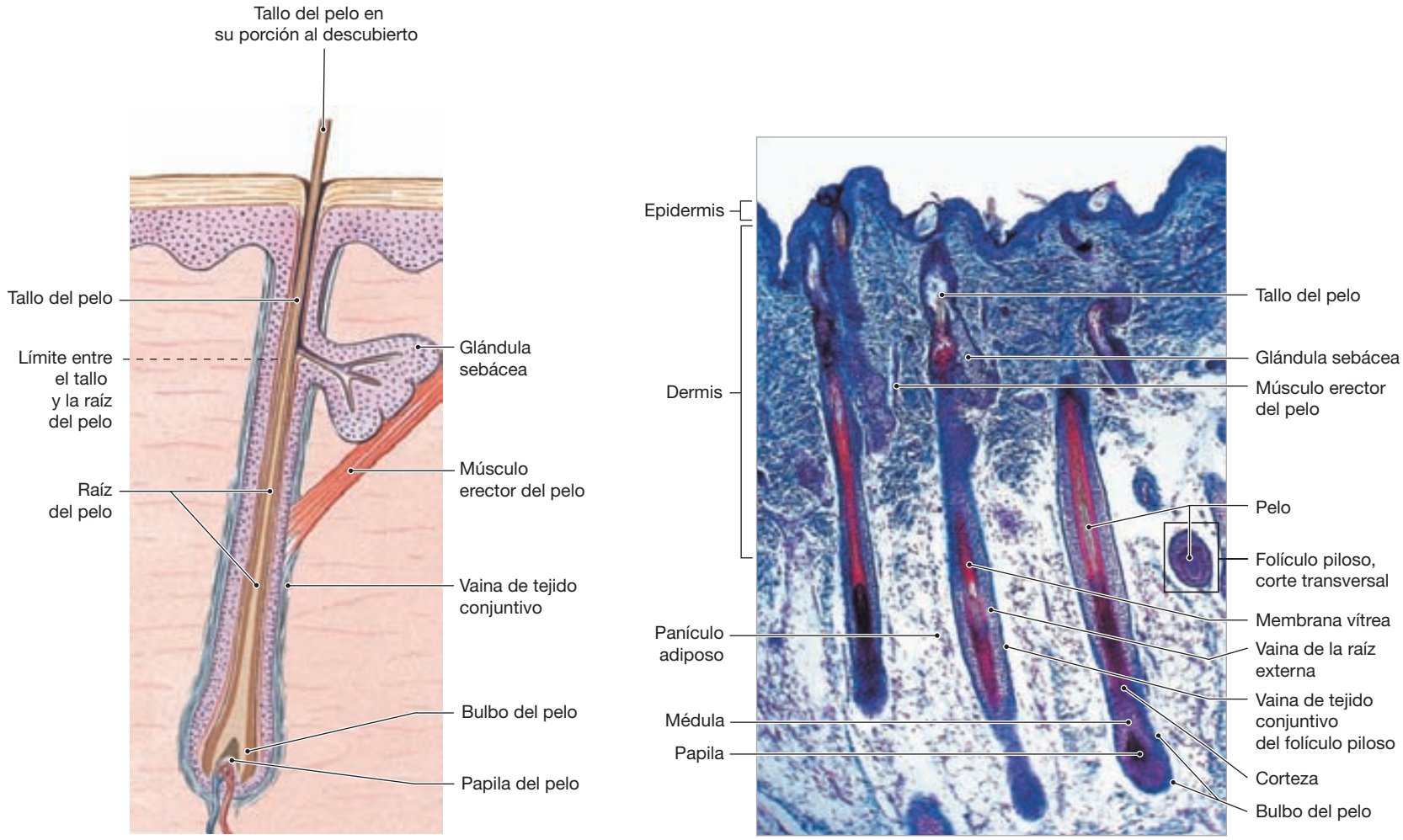
La *tretinoína (Retin-A)* es un derivado de la vitamina A que puede aplicarse a la piel en forma de pomada o de gel. En un principio, este fármaco se elaboró para tratar el acné, pero también aumenta el flujo sanguíneo de la dermis y estimula su reparación. Por consiguiente, disminuye la velocidad con la que se forman las arrugas y reduce el tamaño de las ya existentes. El grado de mejora es variable de una persona a otra.

En cualquier punto, la mayor parte de las fibras colágenas y elásticas están ordenadas en haces paralelos. Su orientación depende de la presión ejercida sobre la piel durante los movimientos normales; los haces se encuentran alineados para oponerse a las fuerzas aplicadas. El patrón de haces fibrosos resultante sienta las **líneas de incisión** cutáneas. Estas líneas, ofrecidas en la figura 4.8, presentan un interés clínico porque cualquier corte paralelo a su trayecto suele permanecer cerrado, mientras que si es perpendicular la tracción lo mantendrá abierto debido al retroceso sufrido por las fibras elásticas seccionadas. Los cirujanos escogen sus patrones de incisión en consonancia con este hecho, pues al ir paralelos a las líneas de incisión, el cierre tendrá lugar antes y con una cicatriz mínima.

Otros componentes de la dermis [v. figuras 4.2/4.9]

Aparte de las fibras proteínicas extracelulares, la dermis contiene todas las células del tejido conjuntivo propiamente dicho [p. 62]. Los órganos anejos de origen epidérmico, como los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas,

Figura 4.8 Líneas de incisión de la piel
Las líneas de incisión siguen las líneas de tensión de la piel. Su trayecto refleja la orientación adoptada por los haces de fibras colágenas en la dermis.



(a) Vista esquemática del folículo piloso **(b) Cuero cabelludo, vista transversal**

Figura 4.9 Anejos cutáneos de la piel
(a) Vista esquemática de un folículo piloso aislado. **(b)** Microfotografía óptica que muestra el aspecto al corte de la piel del cuero cabelludo. Obsérvese la abundancia de folículos pilosos y el modo como se extienden hacia la dermis (MO × 66).

también se extienden por la dermis (v. figura 4.9). Además, sus capas reticular y papilar poseen redes de vasos sanguíneos, linfáticos y fibras nerviosas (v. figura 4.2, p. 90).

Irrigación de la piel [v. figuras 4.2/4.7]

Las arterias y las venas que irrigan la piel forman una red interconectada en la hipodermis a lo largo de su frontera con la capa reticular. Este sistema se denomina **plexo cutáneo** (v. figura 4.2, p. 90). Las ramas arteriales abastecen al tejido adiposo hipodérmico, así como a los tejidos de la piel. En el trayecto recorrido por las pequeñas arterias hacia la epidermis, sus ramas se hacen cargo de los folículos pilosos, las glándulas sudoríparas y otras estructuras de la dermis. Nada más llegar a la capa papilar, estas pequeñas arterias penetran en otra red de ramificaciones, el **plexo papilar,** o *plexo subpapilar.* Desde él, las asas capilares siguen el contorno del límite dermo-epidérmico (v. figura 4.7a, p. 95). Estos capilares desembocan en una red de venas delicadas *(vénulas)* que se reincorporan al plexo papilar. A partir de aquí, salen otras venas más grandes que vierten en un sistema venoso situado en el plexo cutáneo más profundo.

Hay dos razones que justifican la estricta vigilancia del flujo sanguíneo en la piel. En primer lugar, la circulación desempeña una función clave en la *termorregulación,* el control de la temperatura corporal. Cuando los valores de esta variable aumentan, el incremento del paso de sangre por la piel permite perder el exceso de calor, mientras que si baja, el descenso favorece la retención del calor corporal. En segundo lugar, como la volemia total es relativamente constante, el incremento del torrente circulatorio en la piel supone su disminución en algún(os) otro(s) órgano(s). Los sistemas nervioso y endocrino y el aparato cardiovascular interactúan para regular la circulación sanguínea de la piel y mantener un caudal suficiente en otros órganos y sistemas.

Inervación de la piel

Las fibras nerviosas de la piel regulan el flujo sanguíneo, modifican la velocidad de la secreción glandular y controlan a los receptores sensitivos de la dermis y de las capas más profundas de la epidermis. Ya hemos señalado la presencia de las células de Merkel en estas últimas. Se trata de unos receptores para el tacto a cargo de las terminaciones nerviosas sensitivas llamadas *discos táctiles.* La epidermis también contiene dendritas de los nervios sensitivos que tal vez respondan al dolor y la temperatura. La dermis posee unos receptores similares, así como otros tipos más especializados. Entre los ejemplos explicados en el capítulo 18, figuran receptores sensibles al tacto ligero (los *corpúsculos táctiles,* situados en las papilas dérmicas, y el *plexo de la raíz del pelo* que rodea a cada folículo piloso), el estiramiento (los *corpúsculos de Ruffini,* en la capa reticular) y la presión profunda y la vibración (los *corpúsculos laminares,* también en la capa reticular).

Hipodermis [v. figuras 4.2/4.7c]

Las fibras de tejido conjuntivo presentes en la capa reticular están inextricablemente entretejidas con las de la **hipodermis,** también denominada *capa subcutánea* o *fascia superficial,* y el límite entre ambos estratos suele

ser impreciso (v. figura 4.2, p. 90). Aunque a veces no se considera que la hipodermis forme parte de los tegumentos, es importante para estabilizar la posición de la piel con respecto a los tejidos subyacentes, como los músculos estriados u otros órganos, sin impedir a la vez su movimiento independiente.

La hipodermis está compuesta de tejido conjuntivo laxo con numerosos adipocitos (v. figura 4.7c, p. 95). Los recién nacidos y los niños pequeños suelen tener una abundante «grasa infantil», que ayuda a reducir las pérdidas de calor. La grasa subcutánea también actúa como una notable reserva de energía y un amortiguador para las violentas actividades de nuestros primeros años.

Al crecer, cambia la distribución de la grasa subcutánea. En los hombres, se acumula en el cuello, los brazos, a lo largo de la parte inferior de la espalda y sobre las nalgas. En las mujeres, las mamas, las nalgas, las caderas y los muslos son los lugares fundamentales para el depósito de la grasa subcutánea. En los adultos de ambos sexos, la hipodermis del dorso de las manos y de la cara superior de los pies contiene pocos adipocitos, mientras que en la región abdominal puede reunirse una cantidad importante de tejido adiposo y dar lugar a un «abdomen péndulo» prominente.

La hipodermis es bastante elástica. Sólo su región superficial contiene arterias y venas grandes; el resto de las zonas no presenta más que un número escaso de capilares y ningún órgano vital. Esta última característica hace que la *inyección subcutánea* resulte un método útil para administrar los fármacos. El conocido término *aguja hipodérmica* se refiere a la región de destino de la inyección.

Anejos cutáneos [v. figura 4.2]

Los anejos cutáneos de los tegumentos comprenden los *folículos pilosos,* las *glándulas sebáceas,* las *glándulas sudoríparas* y las *uñas* (v. figura 4.2, p. 90). Durante el desarrollo embrionario, estas estructuras se forman por invaginación o repliegue de la epidermis.

Folículos pilosos y pelo

Los **pelos** sobresalen de la superficie cutánea casi en cualquier punto excepto en las caras laterales y la planta de los pies, en la palma de las manos, en la cara lateral de los dedos, en los labios y en algunas zonas de los genitales externos[2]. Hay unos 5 millones de pelos en el cuerpo humano, y el 98% están repartidos por toda su superficie, no en la cabeza. Los pelos no son una estructura viva y se forman en unos órganos llamados **folículos pilosos.**

Producción del pelo [v. figuras 4.9b/4.10]

Los folículos pilosos se extienden hacia la profundidad de la dermis y muchas veces alcanzan la hipodermis subyacente. En la base del folículo, el epitelio rodea la pequeña **papila del pelo,** una cuña de tejido conjuntivo que contiene capilares y nervios. El **bulbo del pelo** comprende las células epiteliales situadas alrededor de la papila.

La producción del pelo consiste en una especialización del proceso de queratinización. La **matriz del pelo** es la capa epitelial encargada de ello. Cuando las células basales superficiales se dividen, originan unas células hijas que se ven empujadas hacia la superficie formando parte del pelo en crecimiento. La mayoría de los pelos tienen una *médula* interna y una *corteza* externa. La médula presenta una **queratina blanda** relativamente dúctil y flexible. Las células de la matriz más próximas al borde del pelo en desarrollo generan la **corteza** (v. figuras 4.9b y 4.10), capa relativamente fuerte que lleva **queratina dura,** la sustancia que otorga su rigidez al pelo. Además, una sola capa de células queratinizadas muertas está superpuesta en la cara externa del pelo y constituye la **cutícula** que lo recubre.

La **raíz del pelo** ocupa desde el bulbo hasta aquella altura en la que haya alcanzado su organización interna completa. Su misión consiste en fijar el pelo al folículo piloso. El **tallo,** la parte que se ve sobre la superficie, se extiende desde este nivel, normalmente equidistante a la superficie cutánea, hasta la punta final de su porción al descubierto. El tamaño, la forma y el color del tallo del pelo son muy variables.

Estructura del folículo [v. figura 4.10a]

Las células de la pared del folículo están organizadas en capas concéntricas (v. figura 4.10a). Desde la cutícula del pelo, sus componentes son los siguientes:

- **Vaina interna de la raíz:** Esta capa rodea a la raíz del pelo y a la porción más profunda del tallo. Está producida por las células presentes en la periferia de su matriz. Como las células que la forman se desintegran con relativa rapidez, nunca llega a ocupar toda la longitud del pelo.
- **Vaina externa de la raíz:** Esta capa se extiende desde la superficie de la piel hasta la matriz del pelo. La mayor parte de su trayecto presenta todas las capas celulares correspondientes a la epidermis superficial. Sin embargo, en el punto de unión entre la vaina externa de la raíz y la matriz del pelo, todas las células se parecen a las del estrato germinativo.
- **Membrana vítrea:** Es una lámina basal engrosada, que se rodea por una vaina de tejido conjuntivo denso.

Funciones del pelo [v. figuras 4.9/4.10a]

Los 5 millones de pelos del cuerpo humano cumplen funciones importantes. En la cabeza, hay alrededor de 100.000 que protegen el cuero cabelludo de la luz ultravioleta, amortiguan los golpes recibidos y proporcionan un aislamiento al cráneo. Los pelos que resguardan la entrada a las narinas y a los conductos auditivos externos sirven para impedir el acceso de partículas extrañas e insectos, y las pestañas desempeñan una misión similar aplicada a la superficie del ojo. El **plexo de la raíz del pelo** está formado por nervios sensitivos y rodea la base de cada folículo piloso (v. figura 4.10a). Por esta razón, el movimiento del tallo puede percibirse a un nivel consciente, incluso el de un solo pelo. Esta sensibilidad facilita un sistema de alerta precoz que puede servir para evitar una lesión. Por ejemplo, es lo que permite matar a un mosquito antes de que llegue a la superficie de la piel.

Una tira de músculo liso, llamado **músculo erector del pelo,** se extiende desde la dermis papilar hasta la vaina de tejido conjuntivo que rodea al folículo piloso (v. figuras 4.9 y 4.10a). Al estimularse, el erector del pelo tira del folículo y levanta el pelo. Su contracción puede dispararse por un estado afectivo, como el miedo o la ira, o por una reacción al frío, lo que causa la característica «carne de gallina». En un mamífero provisto de pelo, esta acción aumenta el espesor del pelaje aislante, algo parecido a lo que supone ponerse un jersey más. Aunque en nuestro caso no recibimos ningún beneficio comparable en este sentido, el reflejo persiste.

Tipos de pelos

Los pelos aparecen por primera vez más o menos pasados los tres primeros meses del desarrollo embrionario. En conjunto, llevan el nombre de *lanugo,* son finísimos y no están pigmentados. La mayoría se desprenden antes del parto, y quedan sustituidos por una de las tres clases de pelo que hay en los tegumentos de un adulto. Estos tipos fundamentales son el *vello,* los *pelos intermedios* y los *pelos terminales.*

- El *vello* corresponde a los pelos finos en «pelusa de melocotón» repartidos por la mayoría de la superficie corporal.
- Los *pelos intermedios* varían de distribución, como sucede con los pelos de las extremidades superiores e inferiores.
- Los *pelos terminales* son fuertes, más pigmentados y a veces rizados. Los de la cabeza, incluidas las cejas y las pestañas, serían un ejemplo de pelos terminales.

La descripción de la estructura del pelo ofrecida antes en este mismo capítulo estaba basada en el examen de los pelos terminales. El vello y los

[2]El glande del pene y el prepucio en el varón; el clítoris, los labios menores y la cara interna de los labios mayores en la mujer.

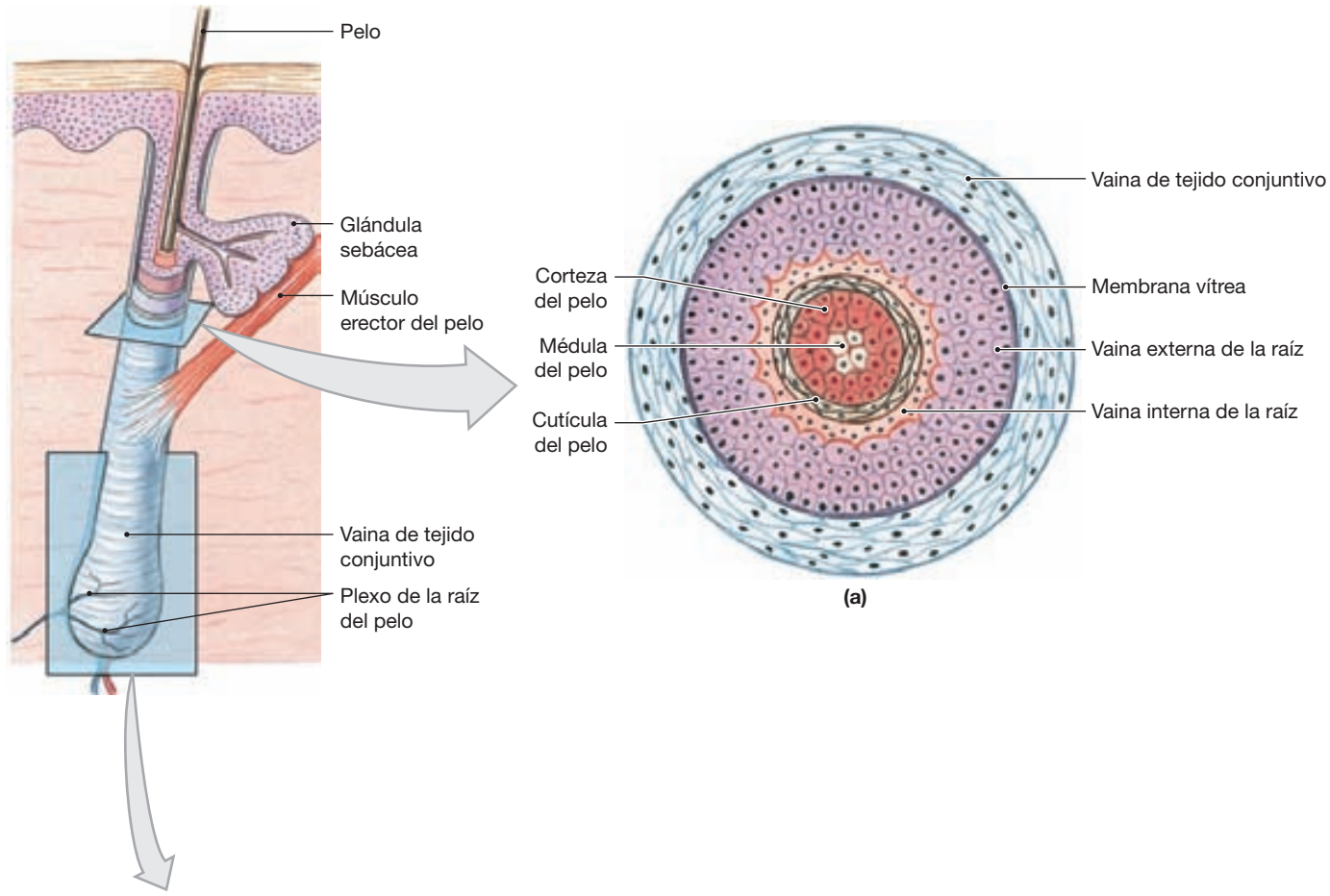


Figura 4.10 **Folículos pilosos**
Los pelos salen de los folículos pilosos, que son órganos complejos. **(a)** Corte longitudinal y transversal a través de un folículo piloso. Cortes histológico **(b)** y esquemático **(c)** siguiendo el eje longitudinal de un folículo piloso (MO × 60).

pelos intermedios son similares, aunque ninguno de ellos posea una médula diferenciada. Los folículos pilosos tienen la capacidad de modificar la estructura de los pelos que producen como respuesta a las hormonas circulantes. De esta manera, un folículo que genere vello hoy puede dar lugar a un pelo intermedio mañana; esto explica muchos de los cambios que ocurren en la distribución del pelo a partir de la pubertad.

Color del pelo

Las variaciones en el color del pelo reflejan diferencias en su estructura y modificaciones en el pigmento fabricado por los melanocitos a nivel de la papila. Estas características vienen determinadas por la genética, pero el estado del pelo puede sufrir la influencia de factores hormonales o ambientales. Que el pelo sea moreno o castaño depende de la densidad de melanina que haya en la corteza. El pelo rojo obedece a la presencia de una forma de melanina distinta por sus propiedades bioquímicas. Como la producción de pigmento disminuye con la edad, el color del pelo va a aclararse hacia un tono gris. El pelo canoso deriva de la combinación entre la falta de pigmento y la presencia de burbujas de aire en el interior de la médula correspondiente al tallo del pelo. Como el propio pelo está muerto y es una estructura inerte, los cambios de su color son graduales; el pelo no puede «encanecerse de la noche a la mañana», como sugieren algunos relatos de terror.

Crecimiento y sustitución del pelo [v. figura 4.11]

Un pelo del cuero cabelludo crece durante 2-5 años, a una velocidad de unos 0,33 mm/día. Las variaciones en este ritmo y en la duración del **ciclo de crecimiento del pelo,** ilustradas en la figura 4.11, explican las diferencias individuales que afectan a la longitud del pelo sin cortar.

Mientras el pelo siga aumentando de tamaño, su raíz permanece sujeta con fuerza a la matriz del folículo. Al acabar el ciclo de crecimiento, el folículo se queda inactivo, y su producto pasa a llamarse **pelo en maza.** Luego el folículo pierde tamaño, y con el tiempo fallan las conexiones entre la matriz y la raíz del pelo en maza. Al empezar otro ciclo de crecimiento, el folículo forma un nuevo pelo y empuja al viejo pelo en maza hacia la superficie.

En los adultos sanos, todos los días se caen unos 50 pelos, pero varios aspectos pueden influir sobre este ritmo. La pérdida continua de más de 100 pelos diarios suele indicar que existe algún problema. El aumento transitorio de este proceso puede deberse a la toma de fármacos, a los aspectos dietéticos, a las radiaciones, a la fiebre alta, al estrés y a factores hormonales relacionados que presentan la gestación.

La recogida de muestras de pelo es un medio útil para diagnosticar diversos trastornos. Por ejemplo, el pelo de las personas con saturnismo o con otras intoxicaciones por metales pesados contiene grandes cantidades de dichos iones metálicos. En el caso de los varones, los cambios en el nivel de las hormonas sexuales en la sangre circulante pueden repercutir sobre el cuero cabelludo, y suscitar la permuta del pelo terminal por la producción de vello. Esta alteración se denomina **calvicie masculina.**

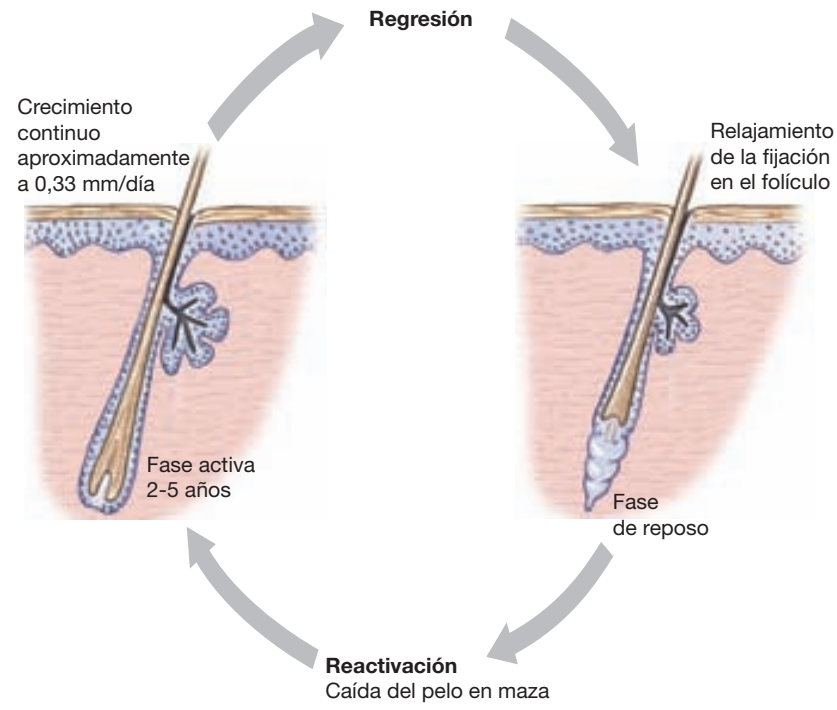


Figura 4.11 Ciclo de crecimiento del pelo
Cada folículo piloso atraviesa ciclos de crecimiento formados por etapas activas y de reposo.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué sucede cuando la dermis se estira en exceso, como pasa en la gestación o con la obesidad?
2. ¿Qué situación se puede producir al contraerse el músculo erector del pelo?
3. Describa las principales características de un pelo.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Glándulas de la piel [v. figura 4.12]

La piel contiene dos tipos de glándulas exocrinas: *glándulas sebáceas* y *glándulas sudoríparas (sudoríferas)*. Las glándulas sebáceas producen un lípido aceitoso que recubre el tallo del pelo y la epidermis. Las glándulas sudoríparas emiten una solución acuosa y cumplen otras funciones especiales. La figura 4.12 resume la clasificación funcional de las glándulas exocrinas de la piel.

Glándulas sebáceas [v. figura 4.13]

Las **glándulas sebáceas** liberan una secreción oleosa y cérea sobre los folículos pilosos (v. figura 4.13). Sus células fabrican grandes cantidades de lípidos cuando maduran, y este producto lipídico se emite por secreción holocrina [pp. 60-61]. Sus conductos son cortos, y varias glándulas sebáceas pueden desembocar en un mismo folículo. Dependiendo de que compartan un conducto común, pueden clasificarse como *glándulas alveolares simples* (cada una tiene su propio conducto) o *glándulas alveolares simples ramificadas* (varias vierten por un solo conducto) [p. 60].

Los lípidos expulsados por las células de una glándula sebácea penetran en su vía de conducción permeable, o *luz*. La contracción del músculo erector del pelo, al elevarlo, exprime la glándula sebácea, lo que empuja sus secreciones céreas contra el folículo y hacia la superficie de la piel. Este producto, llamado **sebo,** proporciona un medio de lubricación e inhibe el crecimiento de las bacterias. La queratina es una proteína dura, pero las células queratinizadas muertas se secan y se vuelven frágiles al quedar expuestas al medio ambiente. El sebo lubrica y protege la queratina del tallo del pelo y acondiciona la piel a su alrededor. Los champús arrastran el recubrimiento aceitoso natural y su aplicación excesiva puede volver rígido y quebradizo el pelo.

Los **folículos sebáceos** son grandes glándulas sebáceas que comunican directamente con la epidermis. Estos folículos, que jamás producen pelos, están presentes en los tegumentos que recubren la cara, la espalda, el tórax, los pezones y los órganos sexuales masculinos. Aunque el sebo posee propiedades bactericidas (destructoras de las bacterias), en determinadas circunstancias estos microorganismos pueden invadir las glándulas o los folículos sebáceos. La presencia de bacterias en su interior crea el peligro de producir una inflamación local denominada **foliculitis.** Si el conducto de la glándula queda tapado, se forma un absceso característico llamado **forúnculo,** o «divieso». El tratamiento habitual de un forúnculo consiste en cortarlo y abrirlo, o «sajarlo», para que su drenaje y su cicatrización sucedan con normalidad.

GLÁNDULAS EXOCRINAS
- Contribución a la termorregulación
- Excreción de residuos
- Lubricación de la epidermis

GLÁNDULAS SEBÁCEAS
(v. figura 4.13)
- Secreción de lípidos aceitosos (sebo) que recubren el tallo del pelo y la epidermis
- Lubricación y acción antibacteriana

GLÁNDULAS SEBÁCEAS TÍPICAS
Secreción hacia los folículos pilosos

FOLÍCULOS SEBÁCEOS
Secreción sobre la superficie de la piel

GLÁNDULAS SUDORÍPARAS
- Producción de una solución acuosa por secreción merocrina
- Enrojecimiento de la superficie epidérmica
- Cumplimiento de otras funciones especiales

GLÁNDULAS SUDORÍPARAS APOCRINAS
(v. figura 4.14)
- Distribución específica (axilas, ingle, pezones)
- Producción de una secreción viscosa de composición compleja
- Posible función de comunicación
- Potente influencia a cargo de las hormonas

GLÁNDULAS CERUMINOSAS
Secreción del cerumen de carácter céreo hacia el conducto auditivo externo

GLÁNDULAS MAMARIAS
Glándulas apocrinas especializadas en la producción de leche

GLÁNDULAS SUDORÍPARAS MEROCRINAS
(v. figuras 3.5, 3.10 y 4.14)
- Gran difusión
- Producción de secreciones poco espesas, en su mayor parte agua
- Mecanismo de secreción merocrino
- Control primordial por el sistema nervioso
- Importante en la termorregulación y la excreción
- Cierta acción antibacteriana

Figura 4.12 Clasificación de las glándulas exocrinas de la piel
Relación entre las glándulas sebáceas y las sudoríparas, y algunas características y funciones de sus productos de secreción.

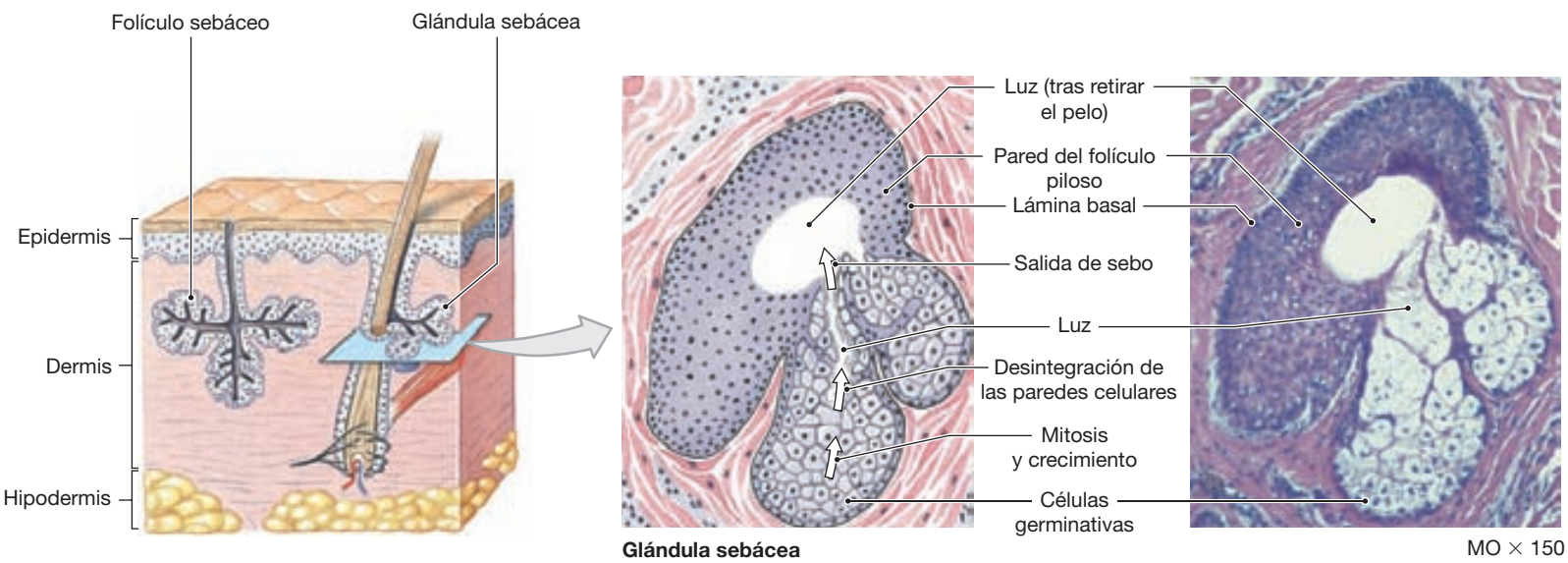


Figura 4.13 Glándulas y folículos sebáceos
Estructura de las glándulas y los folículos sebáceos de la piel.

Nota clínica

Acné y dermatitis seborreica Las glándulas y los folículos sebáceos son muy sensibles a los cambios sucedidos en la concentración de las hormonas sexuales, y sus actividades secretoras se aceleran en la pubertad. Por esta razón, una persona cuyas glándulas sebáceas sean grandes puede estar especialmente predispuesta a sufrir acné durante la adolescencia. En el **acné,** los conductos sebáceos quedan tapados y las secreciones se acumulan, lo que provoca una inflamación y crea un medio fértil para la infección bacteriana.

La **dermatitis seborreica** es una inflamación que rodea a unas glándulas sebáceas de actividad anormal. La zona en cuestión aparece enrojecida y suele haber cierta descamación epitelial. Las glándulas sebáceas del cuero cabelludo son las afectadas más a menudo. En los lactantes, los casos leves reciben el nombre de *costra láctea.* Los adultos conocen este trastorno como *caspa.* La ansiedad, el estrés y las alergias alimentarias pueden acentuar la intensidad de la inflamación, lo mismo que el padecimiento de una micosis coincidente.

Glándulas sudoríparas [v. figuras 4.12/4.14]

La piel contiene dos grupos diferentes de glándulas sudoríparas: *glándulas sudoríparas apocrinas* y *glándulas sudoríparas merocrinas* (v. figuras 4.12 y 4.14). Ambos tipos presentan **células mioepiteliales** (*myo-*, músculo), unas células epiteliales especializadas que se reparten entre las células glandulares y la lámina basal subyacente. Su contracción exprime la glándula y libera las secreciones acumuladas. La actividad secretora de las células glandulares y la contracción de las células mioepiteliales están controladas por el sistema nervioso autónomo y por las hormonas circulantes.

Glándulas sudoríparas apocrinas [v. figuras 4.9a/4.14a] Las glándulas sudoríparas que vierten sus secreciones en los folículos pilosos de las axilas, alrededor de los pezones *(aréolas)* y en la ingle se denominan **glándulas sudoríparas apocrinas** (v. figuras 4.9a y 4.14a). El término *apocrino* se eligió en un primer momento porque se creía que las células glandulares seguían el modo apocrino de secreción. [p. 60]. Aunque ahora sabemos que sus productos se secretan de forma merocrina, no han cambiado de nombre. Las glándulas sudoríparas apocrinas son glándulas tubulares contorneadas que elaboran una secreción viscosa, turbia y potencialmente olorosa. Empiezan a segregar en la pubertad; el sudor fabricado puede actuar sobre las bacterias, generando un olor apreciable. Sus secreciones también pueden llevar *feromonas,* sustancias químicas que transmiten información a otras personas a nivel subconsciente. En este sentido, se ha observado que las secreciones apocrinas de las mujeres adultas modifican el ritmo menstrual de otras mujeres. En cambio, sigue sin conocerse la trascendencia de estas feromonas y la misión de las secreciones apocrinas en el varón.

Glándulas sudoríparas merocrinas [v. figuras 4.12/4.14b] Un tipo de glándula sudorípara que es mucho más numerosa que las apocrinas y sigue una amplia distribución son las **glándulas sudoríparas merocrinas,** también llamadas *glándulas sudoríparas ecrinas* (v. figuras 4.12 y 4.14b). Los tegumentos adultos contienen unos 3 millones de glándulas merocrinas. Su tamaño es menor que el de las apocrinas y no se extienden tanto por la dermis. Las palmas y las plantas las acumulan en mayor cantidad; se calcula que la palma de las manos tiene unas 500 glándulas por centímetro cuadrado. Se trata de unas glándulas tubulares contorneadas que vierten su secreción directamente sobre la superficie de la piel.

La secreción transparente producida por las glándulas merocrinas se denomina **sudor,** o **transpiración sensible.** El sudor está formado en su mayor parte por agua (99%), pero contiene algunos electrólitos (sobre todo, cloruro sódico), metabolitos y productos de desecho. La presencia de cloruro sódico le dota de un sabor salado. Las funciones que cumplen las glándulas sudoríparas merocrinas a través de su actividad son las siguientes:

- **Termorregulación:** El sudor enfría la superficie de la piel y reduce la temperatura corporal. Esta refrigeración es la función básica de la transpiración insensible, y el grado de esta actividad secretora queda regulado

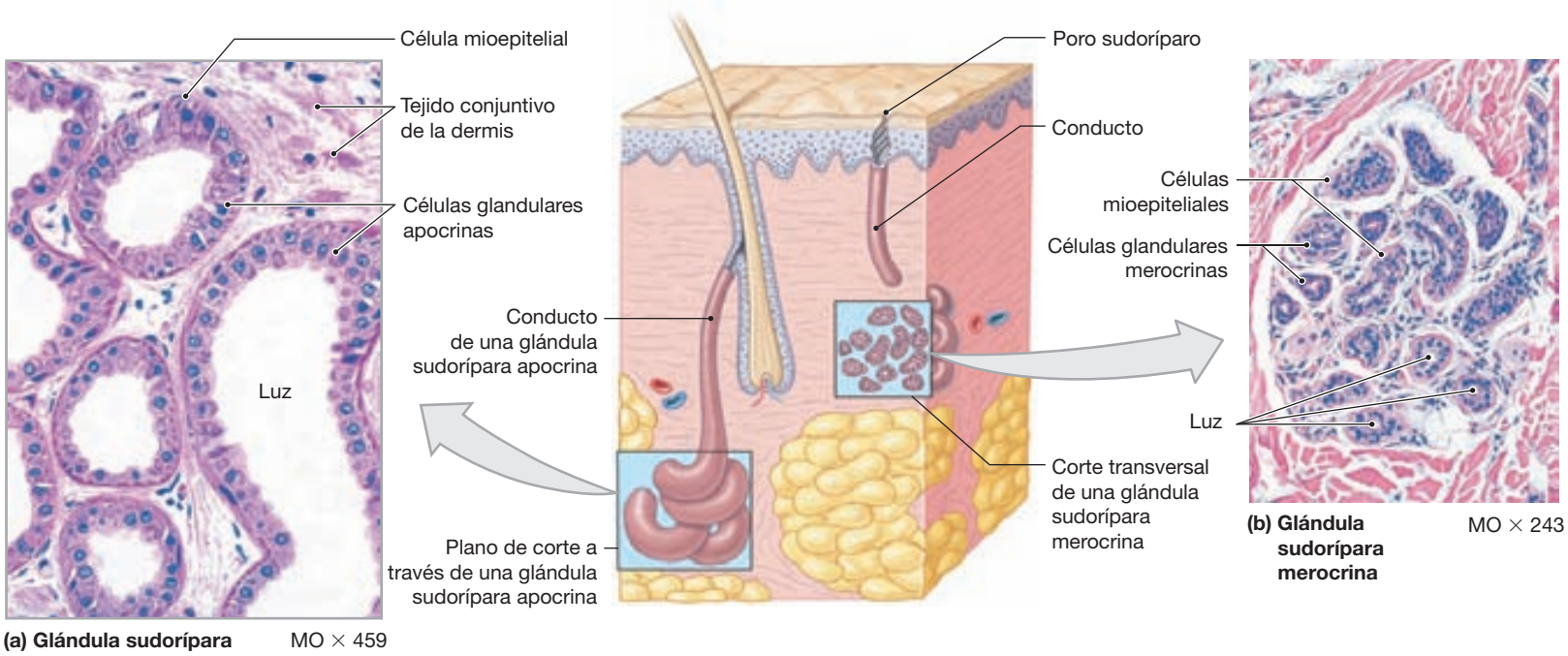

Célula mioepitelial
Tejido conjuntivo de la dermis
Células glandulares apocrinas
Luz
Conducto de una glándula sudorípara apocrina
Plano de corte a través de una glándula sudorípara apocrina
Poro sudoríparo
Conducto
Corte transversal de una glándula sudorípara merocrina
Células mioepiteliales
Células glandulares merocrinas
Luz
(a) Glándula sudorípara MO × 459
(b) Glándula sudorípara merocrina MO × 243

Figura 4.14 Glándulas sudoríparas

(a) Las glándulas sudoríparas apocrinas se hallan en las axilas, la ingle y los pezones. Su producto es un líquido espeso, potencialmente oloroso. **(b)** Las glándulas sudoríparas merocrinas elaboran un líquido acuoso que recibe el nombre habitual de transpiración sensible o sudor.

por mecanismos nerviosos y hormonales. Cuando todas las glándulas sudoríparas merocrinas rinden al máximo, el ritmo de la transpiración puede superar los 4 litros cada hora, y provocar una pérdida hidroelectrolítica peligrosa. Por esta razón, los deportistas dedicados a actividades de resistencia deben realizar frecuentes pausas para beber líquidos.

- **Excreción:** La secreción de las glándulas sudoríparas merocrinas también puede ofrecer una vía importante para la excreción de agua y electrólitos, así como de diversos medicamentos de venta con receta o sin ella.
- **Protección:** La secreción de las glándulas sudoríparas merocrinas protege de los peligros ambientales al diluir las sustancias químicas perjudiciales y frenar el crecimiento de los microorganismos.

Control de las secreciones glandulares

El sistema nervioso autónomo puede activar o desactivar las glándulas sebáceas y sudoríparas apocrinas, pero no existe ningún control regional. Esto quiere decir que cuando una glándula sebácea se estimula, pasa lo mismo con todas las demás del cuerpo. En cambio, las glándulas sudoríparas merocrinas están sometidas a una regulación mucho más precisa, y tanto la cantidad segregada como la zona corporal implicada pueden variar de manera independiente. Por ejemplo, con el nerviosismo despertado durante la espera previa a un examen de anatomía, las palmas pueden empezar a sudar.

Otras glándulas tegumentarias

Las glándulas sebáceas y sudoríparas merocrinas están presentes en la mayor parte de la superficie corporal. Las glándulas sudoríparas apocrinas se encuentran en zonas relativamente circunscritas. La piel también contiene una diversidad de glándulas especializadas, que quedan limitadas a lugares específicos. Muchas aparecerán en capítulos posteriores; aquí se reseñarán dos ejemplos importantes.

1. Las **glándulas mamarias** pertenecientes a la mama guardan una relación anatómica con las glándulas sudoríparas apocrinas. Su desarrollo y su secreción están controlados por una compleja interacción entre las hormonas sexuales e hipofisarias. La estructura y la función de estas glándulas mamarias se comentarán en el capítulo 27.
2. Las **glándulas ceruminosas** son glándulas sudoríparas modificadas que están situadas en el conducto auditivo externo. Se distinguen de las glándulas sudoríparas merocrinas por tener una luz más amplia y porque sus células glandulares contienen gránulos pigmentarios y gotitas lipídicas que no existen en otras glándulas sudoríparas. Sus secreciones se combinan con las vertidas por las glándulas sebáceas cercanas, y forman una mezcla llamada **cerumen,** o simplemente «cera». La cera, junto a los minúsculos pelos salpicados por el conducto auditivo, probablemente sirve para atrapar partículas extrañas o pequeños insectos, y no dejar que lleguen hasta la membrana del tímpano.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Compare las secreciones de las glándulas sudoríparas apocrinas y merocrinas. ¿Cuál es la que libera los productos contra los que va dirigida la industria desodorante?
2. ¿Qué es la transpiración sensible?
3. ¿En qué se distingue el control de la secreción glandular merocrina del que regula la secreción glandular sebácea y apocrina?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Uñas [v. figura 4.15]

Las **uñas** se forman en la cara dorsal de la punta de los dedos. Se encargan de proteger esta parte que queda al descubierto y contribuyen a limitar su deformación cuando los dedos se ven sometidos a un esfuerzo mecánico

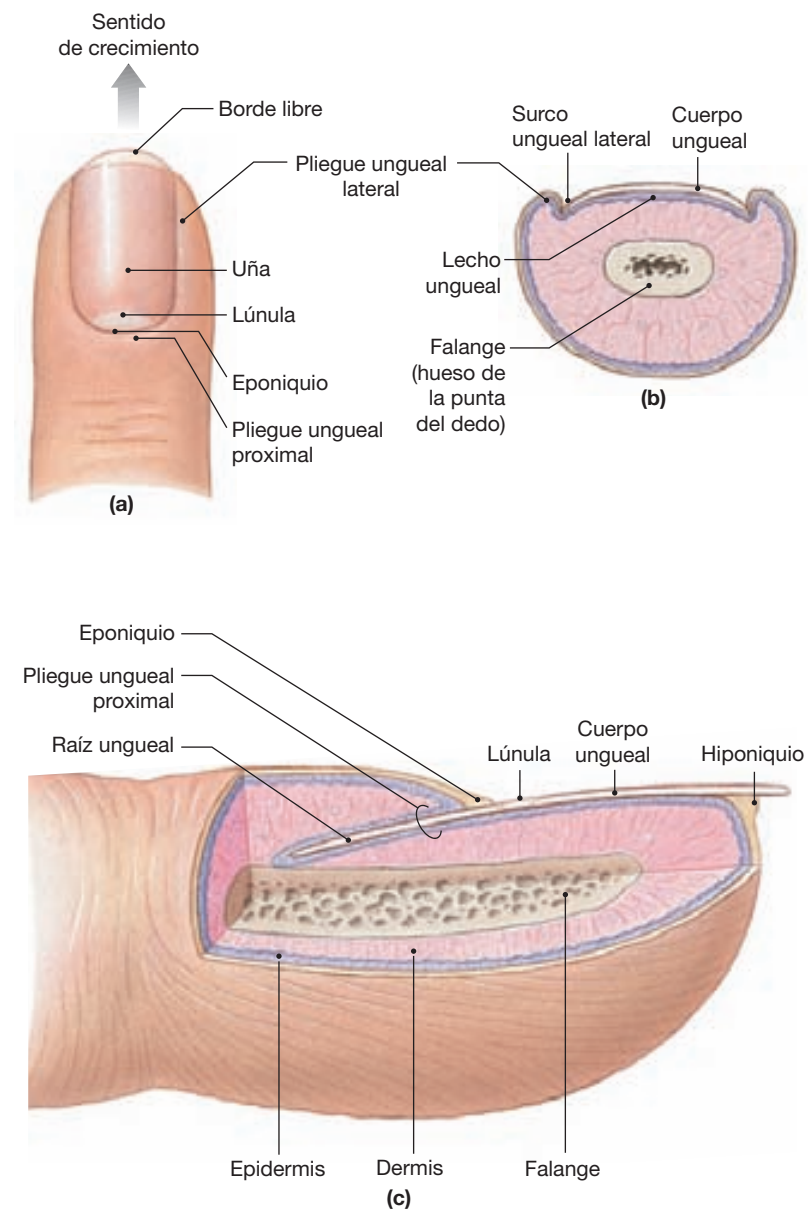


Figura 4.15 Estructura de una uña
Estos dibujos explican los rasgos más destacados de una uña de la mano, vista desde su superficie **(a),** en un corte transversal **(b)** y en un corte longitudinal **(c).**

–por ejemplo, al coger un objeto o al correr–. En la figura 4.15 puede observarse la estructura de una uña. El **cuerpo ungueal** cubre el **lecho ungueal,** pero su formación tiene lugar en la **raíz ungueal,** un pliegue epitelial que no es visible desde la superficie. La porción más profunda de la raíz ungueal queda muy cerca del periostio correspondiente al hueso de la punta del dedo.

El cuerpo ungueal está empotrado debajo del nivel correspondiente al epitelio que lo rodea, y se encuentra delimitado por los **surcos ungueales** y los **pliegues ungueales.** Una parte del estrato córneo del pliegue ungueal se extiende sobre la porción expuesta de la uña al lado de su raíz, formando el **eponiquio** (*epi-,* sobre + *onyx,* uña) o *cutícula.* Los vasos sanguíneos subyacentes otorgan a la uña su característico color rosa, pero cerca de la raíz estos vasos pueden quedar ocultos, y dejar una semiluna pálida denominada **lúnula** *(luna).* El borde libre del cuerpo ungueal se prolonga sobre un estrato córneo engrosado, el **hiponiquio.**

Las modificaciones en la forma, la estructura o el aspecto de las uñas tienen un interés clínico. Su cambio puede indicar la existencia de un proceso patológico que afecte al metabolismo de todo el cuerpo. Por ejemplo, las uñas se ponen amarillas en los pacientes con un trastorno respiratorio crónico, una enfermedad tiroidea o el SIDA. También pueden adoptar un aspecto punteado y deforme en la psoriasis, y cóncavo en algunas alteraciones sanguíneas.

Nota clínica

Reparación de las lesiones cutáneas La piel puede experimentar una regeneración eficaz, incluso después de sufrir una lesión considerable, porque persisten células progenitoras entre los componentes del tejido epitelial y conjuntivo. La división de las células germinativas reemplaza a las células epidérmicas desaparecidas, y las mesenquimatosas sustituyen a las dérmicas. El proceso puede ser lento. Cuando hay grandes áreas afectadas, los problemas debidos a una infección y a la pérdida de líquidos complican la situación. La velocidad y eficacia relativa de la reparación cutánea varían con el tipo de alteración en cuestión. Un corte fino y recto, o *incisión,* puede cicatrizar con cierta rapidez en comparación con un raspado profundo, o *abrasión,* que suponga la reparación de una superficie mucho más amplia.

La regeneración de la piel después de una herida recorre cuatro fases. Cuando el daño atraviesa la epidermis y llega a la dermis, por regla general se produce una hemorragia (PASO 1). El coágulo de sangre formado en la superficie, o **costra,** restablece provisionalmente la integridad de la epidermis y restringe la entrada de nuevos microorganismos a la zona (PASO 2). El grueso de su estructura consta de una red insoluble de *fibrina,* una proteína fibrosa originada a partir de las proteínas de la sangre durante la respuesta de la coagulación. Su color refleja la presencia de glóbulos rojos retenidos. Las células del estrato germinativo experimentan rápidas divisiones y empiezan a emigrar a lo largo de los bordes de la herida en un intento de reponer las células epidérmicas ausentes. Entretanto, los macrófagos patrullan por la región alterada de la dermis, y fagocitan todos los residuos y los patógenos.

Si la herida ocupa un territorio extenso o afecta a una región cubierta por piel fina, la reparación de la dermis debe ponerse en marcha antes de que las células epiteliales lleguen a cubrir la superficie. La división de los fibroblastos y las células mesenquimatosas genera unas células móviles que invaden los sectores más profundos de la lesión. Las células endoteliales de los vasos sanguíneos implicados también empiezan a dividirse, y los capilares siguen a los fibroblastos, lo que fomenta la circulación en la zona. La combinación del coágulo sanguíneo, más los fibroblastos y una amplia red capilar se denomina **tejido de granulación.**

Con el tiempo, las porciones más profundas del coágulo se disuelven, y el número de capilares desciende. La actividad de los fibroblastos da lugar a la aparición de fibras colágenas y de la sustancia fundamental típica (PASO 3). Sin embargo, esta reparación no devuelve los tegumentos a su estado primitivo, porque la dermis va a contener una cantidad anormalmente grande de fibras colágenas y un número relativamente bajo de vasos sanguíneos. Ante una alteración grave, casi nunca se restablecen los folículos pilosos, ni las glándulas sebáceas o sudoríparas, los miocitos y los nervios, y además quedan reemplazados por tejido fibroso. La producción de este **tejido cicatricial** bastante rígido, fibroso y acelular puede tomarse como un límite práctico al mecanismo de la cicatrización (PASO 4).

No sabemos qué regula la magnitud del tejido cicatricial elaborado, y este proceso es muy variable. Por ejemplo, las intervenciones quirúrgicas realizadas en un feto no dejan cicatrices, tal vez porque los tejidos fetales dañados no produzcan el mismo tipo de factores de crecimiento que los tejidos adultos. En algunos adultos, más a menudo en los de piel oscura, la formación de tejido cicatricial puede seguir una vez colmadas las necesidades de reparación tisular. El resultado es una gruesa masa de tejido cicatricial que parte del punto de la lesión y crece hacia la dermis a su alrededor. Esta porción elevada y densa de tejido cicatricial, llamada **queloide,** está cubierta por una superficie epidérmica lisa y brillante. Los queloides surgen con mayor frecuencia en la parte alta de la espalda, los hombros, la zona anterior del tórax o los lóbulos de la oreja. Estas lesiones son inocuas; de hecho, algunas culturas aborígenes provocan a propósito su aparición como un medio de adorno corporal.

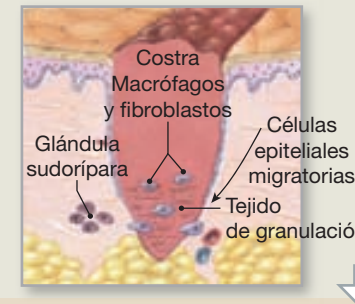
En realidad, los miembros de distintas sociedades por todo el mundo decoran su piel con marcas de un tipo u otro dotadas de su consiguiente interés cultural. Los tatuajes, perforaciones, queloides y otros patrones de cicatrización, y hasta el maquillaje de la alta costura, se emplean para

PASO 1

La zona de lesión sangra nada más producirse la herida y los mastocitos de la región desencadenan una respuesta inflamatoria.

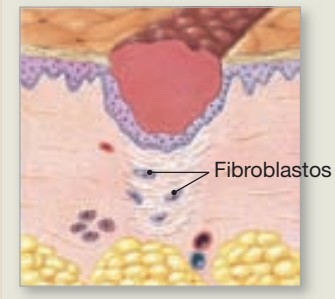
PASO 2

Pasadas varias horas, se ha formado una costra y las células del estrato germinativo emigran siguiendo los bordes de la herida. Las células fagocíticas eliminan los residuos, y aún llegan otras nuevas a través de la circulación más abundante de la zona. El coágulo que queda alrededor de los límites del territorio afectado aísla parcialmente la región.



PASO 3

Una semana después de la lesión, la costra ha quedado socavada por las células epiteliales que emigran sobre la malla producida por la actuación de los fibroblastos. Casi ha concluido la actividad fagocítica en torno a la zona, y el coágulo de fibrina está desintegrándose.



PASO 4

Tras varias semanas, la costra se ha desprendido, y la epidermis está íntegra. Una depresión poco profunda señala el lugar de la lesión, pero los fibroblastos de la dermis siguen elaborando tejido cicatricial que va a levantar poco a poco la epidermis que la recubre.

Nota clínica *(cont.)*

«mejorar» el aspecto de los tegumentos. Varias culturas africanas recurren a la cicatrización, que culmina en una serie de complejas cicatrices elevadas de la piel. Las culturas polinesias muestran su predilección hacia unos tatuajes largos como signo de prestigio y de belleza. Un pigmento oscuro se introduce en la profundidad de la dermis cutánea mediante unos golpecitos con una aguja, un diente de tiburón o un trozo de hueso. Como el pigmento es inerte, si no se infecta (una complicación grave en potencia), las marcas perduran toda la vida del individuo, claramente visibles a través de la epidermis que lo recubre. La cultura popular estadounidense ha redescubierto hace poco los tatuajes como un medio moderno de embellecimiento corporal. Las tintas de color que suelen emplearse son menos duraderas y los más antiguos acaban por desteñirse o perder definición.

En la actualidad, los tatuajes pueden quitarse total o parcialmente. El proceso de eliminación lleva su tiempo (a veces hacen falta 10 sesiones o más para retirar uno grande) y normalmente deja cicatrices. Para borrarlo, un haz de luz intenso y estrecho procedente de un láser descompone las moléculas de tinta en la dermis. Cada ráfaga del láser destruye la tinta, pero también quema el tejido dérmico de alrededor. Aunque estas quemaduras sean leves, se acumulan y desembocan en la formación de tejido cicatricial que está localizado.

Control local del funcionamiento tegumentario

El sistema tegumentario presenta un grado considerable de independencia funcional. Su respuesta a las influencias locales es directa y automática sin la intervención de los sistemas nervioso o endocrino. Por ejemplo, cuando la piel se somete a una agresión mecánica, las células progenitoras del estrato germinativo aumentan su velocidad de división, y el epitelio crece en profundidad. Esta es la razón de que se formen *callos* en la palma cuando se llevan a cabo trabajos manuales. Una demostración más espectacular aún de la regulación local del sistema tegumentario puede observarse después de las heridas en la piel.

Tras una lesión grave, el proceso de reparación no reintegra los tegumentos a su estado primitivo. La zona dañada contiene una densidad anormal de fibras colágenas y un número relativamente bajo de vasos sanguíneos. Casi nunca se restablecen los folículos pilosos, ni las glándulas sebáceas o sudoríparas, los miocitos y los nervios alterados, y además quedan reemplazados por tejido fibroso. La producción de este **tejido cicatricial** bastante rígido, fibroso, es un límite práctico para el mecanismo de cicatrización. La reparación de la piel avanza a mayor velocidad en las personas jóvenes y sanas. Por ejemplo, en un adulto joven la zona con una ampolla tarda 3-4 semanas en resolverse. A los 65-75 años, el mismo proceso necesita 6-8 semanas. Sin embargo, esto no es más que un ejemplo de los cambios que suceden en el sistema tegumentario a raíz del envejecimiento.

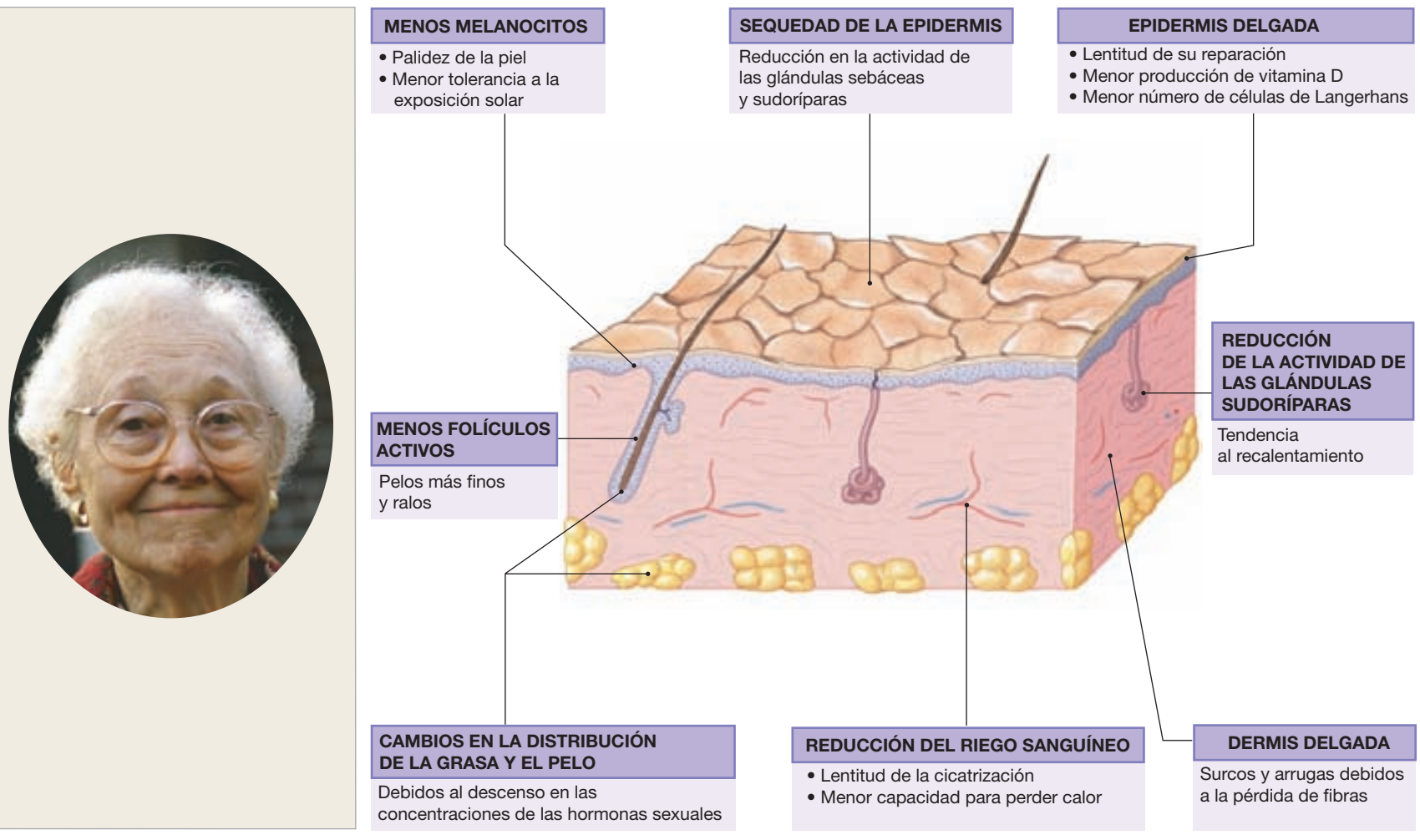

MENOS MELANOCITOS
• Palidez de la piel
• Menor tolerancia a la exposición solar
SEQUEDAD DE LA EPIDERMIS
Reducción en la actividad de las glándulas sebáceas y sudoríparas
EPIDERMIS DELGADA
• Lentitud de su reparación
• Menor producción de vitamina D
• Menor número de células de Langerhans
REDUCCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LAS GLÁNDULAS SUDORÍPARAS
Tendencia al recalentamiento
MENOS FOLÍCULOS ACTIVOS
Pelos más finos y ralos
CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA GRASA Y EL PELO
Debidos al descenso en las concentraciones de las hormonas sexuales
REDUCCIÓN DEL RIEGO SANGUÍNEO
• Lentitud de la cicatrización
• Menor capacidad para perder calor
DERMIS DELGADA
Surcos y arrugas debidos a la pérdida de fibras

Figura 4.16 **La piel durante el proceso de envejecimiento**
Cambios característicos de la piel durante el envejecimiento; grupo de causas y efectos.

Envejecimiento y sistema tegumentario [v. figura 4.16]

El envejecimiento afecta a todos los componentes del sistema tegumentario. Estos cambios se resumen en la **figura 4.16**.

1. La *epidermis se adelgaza* cuando disminuye la actividad de las células germinativas, lo que acentúa la predisposición de las personas ancianas a sufrir lesiones e infecciones en la piel.
2. El *número de células de Langerhans disminuye* más o menos hasta quedarse en un 50% de los niveles observados al llegar a la madurez (en torno a los 21 años). Este descenso puede atenuar la sensibilidad del sistema inmunitario y favorecer más las lesiones y las infecciones de la piel.
3. La *producción de vitamina D se reduce* alrededor de un 75%. La consecuencia puede ser una debilidad muscular y una pérdida de resistencia en los huesos.
4. La *actividad de los melanocitos disminuye* y en las personas de raza blanca la piel se vuelve muy pálida. Al disponer de menos melanina, los ancianos tienen una mayor sensibilidad frente a la exposición al sol y corren más riesgo de sufrir quemaduras solares.
5. La *actividad glandular decae.* La piel se seca y muchas veces se descama por haber menguado la producción de sebo; las glándulas sudoríparas merocrinas también están menos activas. Al perturbarse su transpiración, las personas ancianas no son capaces de disipar el calor a la misma velocidad que los más jóvenes. Por tanto, tienen un mayor peligro de sufrir un recalentamiento en los ambientes cálidos.
6. El *riego sanguíneo de la dermis desciende* al mismo tiempo que la actividad de las glándulas sudoríparas. Esta combinación complica las condiciones para perder calor corporal, y el exceso de ejercicio o la sobreexposición a un ambiente cálido (como en una sauna o en un *jacuzzi)* puede elevar la temperatura corporal hasta cotas peligrosamente altas.
7. Los *folículos pilosos dejan de funcionar* o producen pelos más finos y ralos. Al haber cedido la actividad de los melanocitos, los pelos son grises o blancos.
8. La *dermis se adelgaza,* y la red de fibras elásticas pierde tamaño. Por tanto, los tegumentos se debilitan y pierden elasticidad; así, aparecen surcos y arrugas. Estos efectos son más pronunciados en las zonas expuestas al sol.
9. Las *características sexuales secundarias referidas a la distribución del pelo y de la grasa corporal comienzan a desvanecerse* a raíz de los cambios experimentados en las concentraciones de las hormonas sexuales. Por consiguiente, las personas de ambos sexos y de todas las razas se parecen mucho entre sí a los 90-100 años.
10. La *reparación de la piel progresa con relativa lentitud,* y pueden contraerse infecciones recurrentes.

Caso clínico

ANSIEDAD EN EL LABORATORIO DE ANATOMÍA

John estudia tercer año de inglés y psicología y espera entrar en la facultad de medicina tras su graduación. Este curso está matriculado en todo un abanico de asignaturas, como Psicología de la excepcionalidad, Milton, Redacción profesional, Sociología de los comportamientos desviados y Anatomía humana. De todas estas clases, la Anatomía humana y las prácticas de disección que conlleva ocupan el mayor porcentaje de su tiempo. Para preparar la prueba parcial de prácticas, John pasa muchas horas en el laboratorio. El tiempo extra que tiene que dedicar al curso y la presión que siente ante los exámenes venideros se suman para acentuar cada vez más el nerviosismo durante su estancia en el laboratorio. Antes del examen, John oye rumores en el laboratorio a última hora de la noche sobre lo exigente de la prueba. Esto le produce mucha ansiedad. Pese a poner todo su empeño en relajarse, está bañado en sudor. Se muda la ropa de laboratorio, se lava y se encamina hacia el club de los estudiantes para tomar algo. Sentado en una mesa, nota que la piel de las manos le pica un poco y está algo enrojecida.

Al día siguiente, antes de empezar el examen parcial de prácticas, John ve que el enrojecimiento y el picor de manos se han calmado un poco. Al entrar en el laboratorio, se pone la bata y abre una caja nueva de guantes de exploración. Como tiene las manos sudorosas por los nervios, le cuesta metérselos, con lo que se le desgarran y se le rompen. John los tira y vuelve a la misma marca de guantes con talco que ha venido llevando todo el semestre. Se los ajusta bien y hace el examen de prácticas.

Dos días después, John se da cuenta de que presenta un exantema rojizo y pruriginoso en las dos manos. Además, tiene los ojos llorosos, la nariz le gotea y se ha quedado ronco. A medida que avanza el día, sus síntomas se intensifican y John acude al consultorio de RediMed.

Exploración inicial

El médico de la clínica anota lo siguiente:

- Las dos manos de John muestran un eritema y están un poco hinchadas.
- Tiene los ojos llorosos y rinorrea en la nariz, características de un resfriado.
- Su voz está ronca y áspera.
- Su temperatura es de 37 °C.

Casoc línico *(cont.)*

El médico le dice a John que está atravesando las etapas iniciales de un resfriado. Le recomienda un antihistamínico de venta sin receta para combatir los síntomas del catarro e hidrocortisona para el exantema que le afecta a las manos.

A medida que avanza la siguiente semana, John reanuda sus estudios en la sala de disección. Ningún medicamento parece funcionar y se agrava el exantema, y el picor de manos. Al cabo de 1 semana más, John ya ni siquiera puede ponerse los guantes porque los síntomas empeoran en cuestión de minutos después de hacerlo. Vuelve al RediMed para someterse a un segundo reconocimiento.

Exploración de seguimiento

El médico apunta lo siguiente:

- Las manos de John están hinchadas y enrojecidas (**v. figura 4.17**).
- Todos los valores correspondientes a la amplitud de movimientos (ADM) articular son normales, y su realización no va acompañada ni de dolor ni de malestar.
- Se observan pápulas y vesículas en las caras palmar y dorsal de las manos.
- La piel de las manos de John parece haber aumentado de grosor y manifiesta cambios de pigmentación.
- Todavía persisten los síntomas anteriores de John: rinorrea, ojos llorosos y voz ronca.

Al médico le preocupa que John haya contraído una irritación por los polvos de talco o una alergia a alguna de las condiciones de trabajo presentes en la sala de disección o a varias. Dos posibilidades serían la alergia frente a los guantes de goma o frente al formol empleado para conservar los cadáveres. El médico:

- Receta un antihistamínico y una pomada esteroidea más potente contra el exantema cutáneo, para aliviar los síntomas de John.
- Recomienda que evite el contacto de la mano con la goma o con el formol.
- Le prescribe una pluma de epinefrina y le aconseja que la lleve siempre encima por si sufriera una reacción anafiláctica en el laboratorio.

Figura 4.17 **Dorso de la mano de John**

- Le pide que vuelva al consultorio en 48 horas y le traiga una muestra de los guantes utilizados en la sala de disección, así como una lista de las sustancias químicas empleadas para conservar los cadáveres.
- Le dice a John que llame al consultorio del médico en cuestión de 72 horas si los síntomas no han cedido.

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en este capítulo. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, consultando de nuevo este capítulo si necesita alguna ayuda.

1. ¿Cuáles son las características anatómicas de la piel en las caras palmar y dorsal de las manos?
2. ¿Qué estructuras anatómicas de la piel son las responsables de sus propiedades protectoras? ¿Cuáles son las características anatómicas de estas células y tejidos que permitirían explicarlas?
3. ¿Qué estructuras anatómicas son las responsables de la formación del sudor?
4. La piel de las manos de John parece más gruesa y manifiesta cambios de pigmentación. ¿Qué proceso anatómico justificaría estas transformaciones?

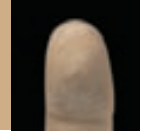
Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas de este capítulo indicadas entre corchetes.

1. En la palma de las manos y en la planta de los pies la piel es gruesa, y puede estar cubierta por 30 capas de células queratinizadas o más **[pp. 90-92]**.
2. La epidermis cutánea, sobre todo su estrato córneo, es la responsable de las propiedades protectoras de la piel **[pp. 92-93]**.
3. Las glándulas sudoríparas de la piel producen sudor. Estas glándulas están controladas por el sistema nervioso autónomo, cuya actividad sería superior a lo normal debido al nerviosismo de John ante su inminente examen **[pp. 102-103]**.
4. Aunque leve, la irritación repetida de las manos de John por los guantes de goma aumentará la síntesis de queratohialina y queratina en el estrato granuloso de la piel **[pp. 91-92]**. Debido al engrosamiento de la epidermis cutánea, la piel de la región afectada adoptará un color más claro **[p. 93]**.

Diagnóstico

John padece una reacción alérgica cada vez más extendida entre los trabajadores sanitarios, los estudiantes y cualquiera que se vea expuesto a los productos de goma: ha desarrollado una alergia al látex. Las fases avanzadas de este trastorno, que son las que está atravesando debido a su uso permanente de los guantes de goma en la sala de disección durante todo el trimes-



Casoc línico *(cont.)*

tre, va acompañado de rinorrea, ojos llorosos y voz ronca a raíz de la afectación generalizada de las mucosas en la nariz, los ojos y la garganta. Estas mucosas forman una barrera contra la entrada de los patógenos [p. 72], y la alergia al látex de John repercute sobre la estructura anatómica de estas membranas y sobre su funcionamiento.

Las alergias a la goma del látex natural son cada día más frecuentes entre los niños y los adultos. Además, se están convirtiendo en un problema médico grave para los trabajadores sanitarios.

El látex es el líquido lechoso derivado de los árboles del caucho. Está formado primordialmente por compuestos orgánicos de carácter beneficioso, que son los máximos responsables de su resistencia y elasticidad. También contiene una gran variedad de azúcares, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas.

Después de su fabricación industrial, los guantes de goma se secan y se lavan con el afán de reducir la cantidad de proteínas e impurezas que queden sobre su superficie. Muchas veces se los lubrica con maicena o polvo de talco. Las sustancias que se utilizan con dicho propósito tienen la capacidad de absorber todas las proteínas residuales del látex presentes tras su proceso de elaboración. Estos elementos favorecen la posibilidad de desencadenar una reacción alérgica en el usuario al uso de guantes.

El látex se emplea hoy día en toda una amplia gama de productos. Además, durante los últimos 20 años se ha utilizado en un número creciente de dispositivos médicos. A finales de los años ochenta, su aplicación dentro de la industria médica se disparó debido a la recomendación generalizada de la utilización de guantes de goma para evitar la transmisión hemática de patógenos entre los trabajadores sanitarios, como el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Todos los años, EE. UU. importa miles de millones de pares de guantes para uso médico. Este extraordinario empleo de la goma ha hecho que las alergias al látex se conviertan en un problema cada vez mayor para el sector sanitario, no sólo en EE. UU., sino por todo el mundo. ■

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

eritema: Enrojecimiento debido a la dilatación de los capilares.

pápula: Elevación sólida delimitada que mide hasta 1 cm de diámetro en la piel.

pluma de adrenalina (también llamada epi-pluma): Instrumento que permite la inyección rápida a una persona de una cantidad predeterminada de epinefrina sin la presencia de un profesional sanitario.

reacción anafiláctica: Sensibilidad generalizada o sistémica provocada.

vesícula: Pequeña elevación delimitada de la piel (menor de 1 cm), que contiene líquido.

TÉRMINOS CLÍNICOS

acné: Inflamación de las glándulas sebáceas ocasionada por una acumulación de las secreciones.

aguja hipodérmica: Aguja utilizada para administrar fármacos mediante una inyección subcutánea.

carcinoma basocelular: Tumor maligno originado en el estrato germinativo. Es el cáncer de piel más frecuente, y corriente, y más o menos dos tercios de ellos surgen en zonas sometidas a una exposición prolongada a la radiación UV. Pocas veces metastatiza.

carcinoma espinocelular: Forma menos común de cáncer de piel, prácticamente limitada del todo a las regiones cutáneas expuestas al sol. Pocas veces metastatiza, excepto en los tumores avanzados.

contracción: Tracción simultánea de los bordes de una herida durante su proceso de cicatrización.

costra: Coágulo de fibrina que se forma en la superficie de una herida cutánea.

dermatitis: Inflamación de la piel que afecta sobre todo a la región papilar de la dermis.

dermatitis de contacto: Dermatitis provocada en líneas generales por la acción de potentes irritantes químicos. Origina un exantema pruriginoso que puede propagarse a otras regiones si el rascado distribuye el producto químico; un ejemplo es el tóxico de la hiedra.

dermatitis del pañal: Dermatitis localizada, debida a la combinación de humedad, sustancias químicas irritantes derivadas de la excreción fecal o urinaria, y el florecimiento de microorganismos.

dermatitis seborreica: Inflamación que rodea a unas glándulas sebáceas dotadas de una actividad anormal.

eccema: Dermatitis que puede desencadenarse por circunstancias como los cambios de temperatura, los hongos, los irritantes químicos, el maquillaje, los detergentes o el estrés, y puede guardar alguna relación con factores hereditarios o ambientales.

erisipela: Inflamación generalizada de la dermis, originada por una infección bacteriana.

eritema: Enrojecimiento por dilatación capilar.

hemangioma capilar: Antojo ocasionado por un tumor que afecta a los capilares de la capa papilar de la dermis. Suele crecer tras el nacimiento, pero posteriormente retrocede y desaparece.

hemangioma cavernoso («mancha de vino de Oporto»): Antojo ocasionado por un tumor que afecta a los vasos más grandes de la dermis. Tales alteraciones suelen perdurar toda la vida.

injerto cutáneo: Trasplante de una porción de piel (de grosor parcial o total) para cubrir una zona de lesión amplia, como una quemadura de tercer grado.

melanoma maligno: Cáncer de piel provocado por melanocitos malignos. Muchas veces produce una metástasis que es letal en potencia.

pápula: Elevación sólida delimitada, que mide hasta 1 cm de diámetro en la piel.

psoriasis: Proceso indoloro, caracterizado por una división rápida de las células progenitoras en el estrato germinativo del cuero cabelludo, los codos, las palmas, las plantas, las ingles y las uñas. Las zonas afectadas adquieren un aspecto seco y escamoso.

queloide: Zona engrosada de tejido cicatricial, que está recubierta por una superficie epidérmica lisa y brillante. Los queloides surgen con mayor frecuencia en las personas de piel oscura a nivel de la parte alta de la espalda, los hombros, la zona anterior del tórax y los lóbulos de la oreja.

sepsis: Peligrosa infección bacteriana generalizada. La sepsis es la causa principal de muerte entre los quemados.

tejido de granulación: Combinación de fibrina, fibroblastos y capilares, formada durante la reparación tisular que sigue a la inflamación.

úlceras por decúbito («escaras de decúbito»): Úlceras que aparecen en zonas sometidas a alguna limitación de la circulación, especialmente frecuentes en las personas encamadas.

urticaria o *habones:* Dermatitis extensa derivada de una reacción alérgica a los alimentos, los fármacos, las picaduras de insectos, las infecciones, el estrés u otros estímulos.

vesícula: Pequeña elevación delimitada de la piel (menor de 1 cm) que contiene líquido.

xerosis: «Piel seca», dolencia frecuente entre los ancianos y en casi todas las personas que viven en un clima árido.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 89

1. El **sistema tegumentario,** o *tegumentos,* sirve para proteger a una persona del entorno. Sus receptores también nos informan sobre el mundo exterior, y ayuda a regular la temperatura corporal.

Estructura y función de los tegumentos 90

1. El **sistema tegumentario,** o **tegumentos,** consta de la **membrana cutánea** o *piel,* que abarca la **epidermis** superficial y la **dermis** más profunda, y los **anejos cutáneos,** como los **folículos pilosos,** las **uñas** y las **glándulas exocrinas.** La hipodermis está profunda a la membrana cutánea *(v. figuras 4.1/4.2).*

Epidermis 90

1. En la epidermis hay cuatro tipos de células: los **queratinocitos,** las células epiteliales más abundantes; los **melanocitos,** células productoras de pigmento; las **células de Merkel**, que participan en la detección de las sensaciones, y las **células de Langerhans,** que son células fagocíticas del sistema inmunitario. Los melanocitos, las células de Merkel y las células de Langerhans están dispersas entre los queratinocitos.
2. La epidermis es un *epitelio pavimentoso estratificado.* Hay cinco capas de queratinocitos en la epidermis de la **piel gruesa** y cuatro en la **piel fina** *(v. figura 4.4).*

Capas de la epidermis 91

3. La división de las células basales en el **estrato germinativo** produce nuevos queratinocitos, que sustituyen a las células más superficiales *(v. figuras 4.2 a 4.6).*
4. A medida que se diferencian las nuevas células epidérmicas ya determinadas, atraviesan el **estrato espinoso,** el **estrato granuloso,** el **estrato lúcido** (de la piel gruesa) y el **estrato córneo.** Los queratinocitos se desplazan hacia la superficie, y las células acumulan grandes cantidades de **queratina** por el proceso de queratinización. Por último, se desprenden o se pierden desde la superficie de la epidermis *(v. figura 4.3).*

Piel gruesa y piel fina 93

5. La **piel fina** cubre la mayor parte del cuerpo; la **piel gruesa** sólo cubre las superficies con una gran erosión, como la palma de las manos y la planta de los pies *(v. figura 4.4).*
6. Las **crestas epidérmicas,** como en la palma y en la planta, mejoran nuestra capacidad de prensión y aumentan la sensibilidad de la piel. Su patrón está determinado por la genética. Las crestas se entrelazan con las **papilas dérmicas** de la dermis subyacente *(v. figuras 4.4/4.5).*
7. El color de la epidermis depende de una combinación de tres factores: el riego sanguíneo de la dermis, el espesor del estrato córneo, y las cantidades variables de dos pigmentos: *caroteno* y *melanina.* La melanina sirve para proteger la piel de los efectos perjudiciales de la excesiva **radiación ultravioleta** *(v. figura 4.6).*

Dermis 95

Organización de la dermis 95

1. Dos capas componen la dermis: la **capa papilar** superficial y la **capa reticular** más profunda *(v. figuras 4.2/4.4/4.7 a 4.9).*
2. La capa papilar obtiene su nombre de su asociación con las papilas dérmicas. Contiene vasos sanguíneos, linfáticos y nervios sensitivos. Esta capa sostiene y nutre a la epidermis que la recubre *(v. figuras 4.4/4.7).*
3. La capa reticular está compuesta por una malla de fibras colágenas y elásticas orientadas en todas las direcciones para resistir la tensión en la piel *(v. figura 4.8).*

Otros componentes de la dermis 96

4. La amplia irrigación de la piel consta de los **plexos cutáneo** y **papilar.** La capa papilar contiene abundantes capilares que desembocan en las venas de sus plexos *(v. figura 4.2).*
5. La piel está inervada por nervios sensitivos. Estos controlan el tacto, la temperatura, el dolor, la presión y la vibración *(v. figura 4.2).*

Hipodermis 97

1. La hipodermis también recibe los nombres de capa subcutánea o fascia superficial. Aunque no forma parte de los tegumentos, estabiliza la posición de la piel con respecto a los órganos y tejidos subyacentes, sin impedir a la vez un movimiento independiente limitado *(v. figuras 4.2/4.7).*

Anejos cutáneos 98

Folículos pilosos y pelo 98

1. Los pelos nacen en unos órganos complejos llamados **folículos pilosos,** que se extienden hacia la dermis. Cada uno tiene un **bulbo,** una **raíz** y un **tallo.** La producción del pelo consiste en una queratinización especial de las células epiteliales de la **matriz del pelo.** En el centro de la matriz, las células forman un núcleo blando, o **médula;** las del borde del pelo constituyen una **corteza** dura. La **cutícula** es una capa dura de células queratinizadas muertas que cubre el pelo *(v. figuras 4.2/4.9 a 4.11).*
2. La luz del folículo está revestida por una **vaina interna de la raíz** producida por la matriz del pelo. Una **vaina externa de la raíz** la rodea, entre la superficie de la piel y la matriz del pelo. La **membrana vítrea** es la lámina basal engrosada que queda por fuera de la vaina externa de la raíz; está envuelta por una capa de tejido conjuntivo denso *(v. figura 4.10).*
3. El **plexo de la raíz del pelo** formado por nervios sensitivos rodea la base de cada folículo piloso y detecta el movimiento del tallo. La contracción del **músculo erector del pelo** levanta el pelo al tirar del folículo *(v. figuras 4.9/4.10a).*
4. El **vello** («pelusa de melocotón»), los **pelos intermedios** y los **pelos terminales** fuertes constituyen la población de pelos de nuestro cuerpo *(v. figura 4.11).*
5. Los pelos salen y se caen siguiendo el **ciclo de crecimiento del pelo.** Un pelo aislado crece durante 2-5 años y posteriormente se desprende *(v. figura 4.11).*

Glándulas de la piel 100

6. Las **glándulas sebáceas** liberan una secreción aceitosa y cérea (**sebo**) sobre los folículos pilosos. Los **folículos sebáceos** son grandes glándulas sebáceas que no producen pelo; comunican directamente con la epidermis *(v. figura 4.13).*
7. Las **glándulas sudoríparas apocrinas** producen una secreción olorosa; las **glándulas sudoríparas merocrinas,** o *glándulas sudoríparas ecrinas,* más abundantes, producen una secreción acuosa poco espesa en la **transpiración sensible,** o **sudor** *(v. figuras 4.12/4.14).*
8. Las **glándulas mamarias** pertenecientes a la mama parecen unas glándulas sudoríparas apocrinas más grandes y complejas. Las glándulas mamarias activas segregan leche. Las **glándulas ceruminosas** del conducto auditivo son glándulas sudoríparas modificadas, que producen el **cerumen** de carácter céreo.

Uñas 103

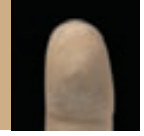
9. Las **uñas** protegen la parte al descubierto de la punta de los dedos y contribuyen a limitar su deformación cuando se ven sometidos a un esfuerzo mecánico.
10. El **cuerpo ungueal** cubre el **lecho ungueal,** y la producción de la uña tiene lugar en la **raíz ungueal.** La **cutícula,** o **eponiquio,** está formada por un pliegue del estrato córneo, el **pliegue ungueal,** que se extiende desde la **raíz ungueal** hasta la porción expuesta de la uña *(v. figura 4.15).*

Control local del funcionamiento tegumentario 105

1. La piel puede regenerarse con eficacia incluso después de sufrir una lesión considerable, como un corte grave o una quemadura moderada.
2. Una afectación intensa de la dermis y las glándulas anejas no puede repararse del todo, y el **tejido cicatricial** fibroso persiste en la zona de la lesión.

Envejecimiento y sistema tegumentario 105

1. El envejecimiento afecta a todas las capas y anejos cutáneos del sistema tegumentario *(v. figura 4.16).*



REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___1. hipodermis	a. fibroso, acelular
___2. dermis	b. holocrina; secreción oleosa
___3. célula progenitora	c. células pigmentarias
___4. queratinizado/cornificado	d. estrato germinativo
___5. melanocitos	e. fascia superficial
___6. epidermis	f. capa papilar
___7. glándula sebácea	g. estrato córneo
___8. glándula sudorípara	h. epitelio pavimentoso estratificado
___9. tejido cicatricial	i. merocrina; secreción transparente

10. Desde el punto de vista anatómico, los nombres «piel gruesa» y «piel fina» indican diferencias en el espesor de la:
    (a) capa papilar (b) dermis
    (c) hipodermis (d) epidermis

11. Los efectos del envejecimiento sobre la piel consisten en:
    (a) una menor actividad de las glándulas sebáceas
    (b) una mayor producción de vitamina D
    (c) un engrosamiento de la epidermis
    (d) un aumento de la irrigación en la dermis

12. El color de la piel es el producto de:
    (a) el riego sanguíneo de la dermis
    (b) la composición pigmentaria
    (c) la concentración de pigmento
    (d) todas las anteriores

13. La transpiración sensible:
    (a) enfría la superficie de la piel para reducir la temperatura corporal
    (b) ofrece una vía de excreción para el agua y los electrólitos
    (c) diluye las sustancias químicas perjudiciales y frena el crecimiento bacteriano sobre la piel
    (d) todas las anteriores

14. La capa de la piel que contiene haces entretejidos de fibras colágenas y la proteína elastina, y es responsable de la resistencia cutánea, es la:
    (a) capa papilar (b) capa reticular
    (c) capa epidérmica (d) capa hipodérmica

15. La capa de la epidermis que contiene células en división es el:
    (a) estrato córneo (b) estrato germinativo
    (c) estrato granuloso (d) estrato lúcido

16. La pérdida de agua debida a la penetración de líquido intersticial hasta la superficie de la piel se denomina:
    (a) transpiración sensible (b) transpiración insensible
    (c) transpiración latente (d) transpiración activa

17. El envejecimiento causa todos los efectos siguientes excepto:
    (a) el adelgazamiento de la epidermis cutánea
    (b) un aumento en el número de células de Langerhans
    (c) una reducción de la actividad de los melanocitos
    (d) una reducción de la actividad glandular

18. El sistema tegumentario cumple todas las funciones siguientes excepto la:
    (a) protección del tejido subyacente (b) excreción
    (c) síntesis de vitamina C (d) termorregulación

19. El caroteno:
    (a) es un pigmento amarillo-naranja que se acumula en el interior de las células epidérmicas
    (b) es otro nombre de la melanina
    (c) se deposita en las células del estrato granuloso para proteger la epidermis
    (d) es un pigmento que dota a la hemoglobina de su color característico

20. ¿Qué afirmación describe mejor la raíz de un pelo?
    (a) se extiende desde el bulbo del pelo hasta la altura en la que haya alcanzado su organización interna completa
    (b) es la porción del pelo que no está viva
    (c) abarca todo el pelo que queda profundo a la superficie de la piel
    (d) engloba todas las estructuras del folículo piloso

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Las crestas epidérmicas:
    (a) sólo están en la superficie de la epidermis
    (b) generan el patrón de crestas que aparece sobre la superficie de la piel
    (c) producen unos patrones que vienen determinados por el medio ambiente
    (d) están conectadas con los desmosomas del estrato espinoso

2. ¿Por qué las personas de piel blanca tienen que resguardarse del sol más que las de piel oscura?

3. ¿Cómo se forman los callos y por qué?

4. Las estrías gravídicas pueden derivar de la gestación. ¿Qué es lo que provoca su aparición?

5. ¿Cómo influye la proteína queratina sobre el aspecto y el funcionamiento de los tegumentos?

6. ¿Qué característica(s) hace(n) que la hipodermis sea la región seleccionada muchas veces para realizar las inyecciones hipodérmicas?

7. ¿Por qué el lavado de la piel y la aplicación de desodorante reduce el olor de las glándulas sudoríparas apocrinas?

8. ¿Qué le pasa a una persona cianótica y qué estructuras corporales ponen de manifiesto esta situación con mayor facilidad?

9. ¿Por qué los ancianos tienen menor capacidad de adaptarse a las temperaturas extremas?

10. La piel puede regenerarse con eficacia, incluso después de haber sufrido una lesión considerable porque:
    (a) la epidermis cutánea presenta la llegada abundante de pequeños vasos sanguíneos
    (b) los fibroblastos de la dermis dan lugar a nuevas células germinativas epidérmicas
    (c) la contracción de la zona afectada reúne células de los estratos adyacentes
    (d) las células progenitoras persisten en los componentes cutáneos correspondientes al tejido epitelial y el tejido conjuntivo incluso después de la lesión

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En un proceso llamado insolación, la víctima adquiere un aspecto colorado, la piel está caliente y seca, y la temperatura corporal sufre un tremendo ascenso. Explique estas observaciones a partir de sus conocimientos sobre la misión que cumple la piel en la termorregulación.

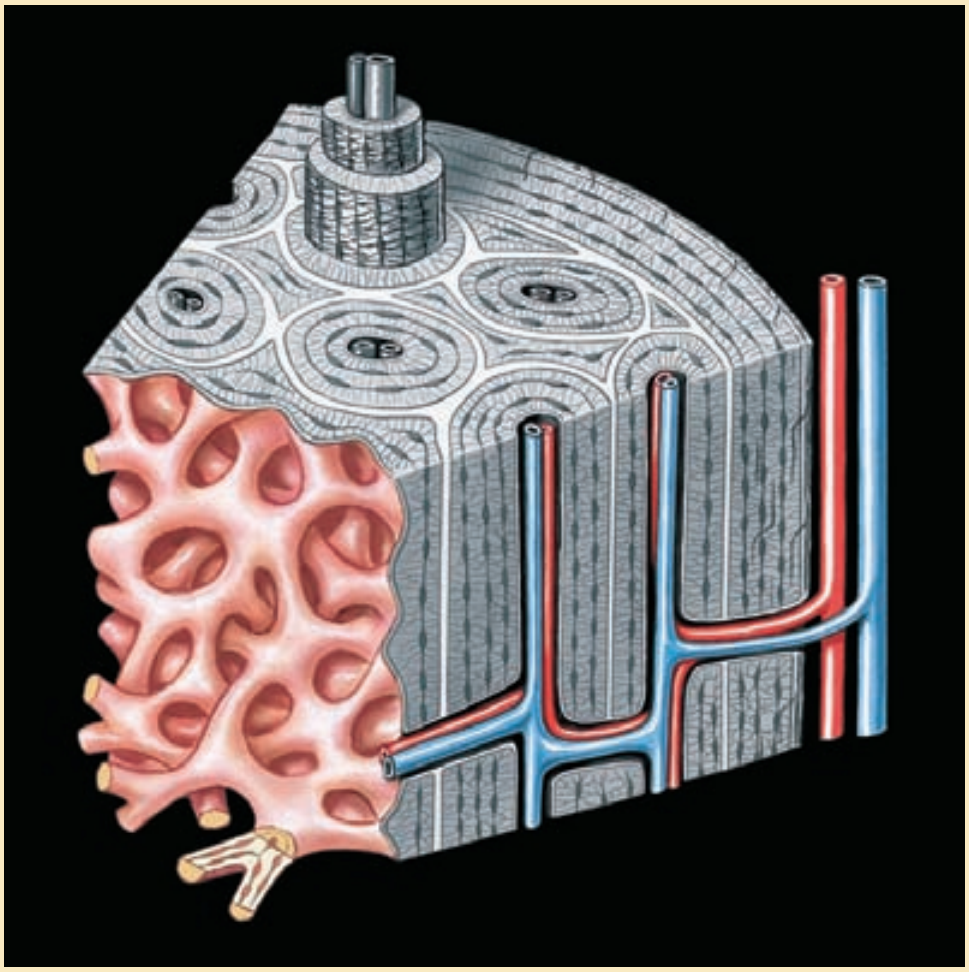
2. Está a punto de operarse. ¿Por qué es importante que su médico entienda perfectamente las líneas de incisión de la piel?

3. Muchos medicamentos pueden administrarse por vía transdérmica mediante la aplicación sobre la superficie cutánea de un parche cargado con ellos. Estos parches pueden fijarse a cualquier parte de la piel excepto a la palma de las manos y la planta de los pies. ¿Por qué?

5

Sistema óseo

Tejido óseo y estructura del esqueleto



Introducción 112

Estructura del hueso 112

Desarrollo y crecimiento del hueso 117

Remodelación, reparación y mantenimiento óseos 124

Anatomía de los elementos del esqueleto 126

Integración con otros sistemas 130

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Señalar las funciones del sistema óseo.
2. Describir los tipos celulares presentes en el hueso maduro y comparar sus funciones.
3. Contrastar la estructura del hueso compacto y su función con las del hueso esponjoso.
4. Localizar y comparar la estructura del periostio y del endostio y su función.
5. Estudiar los pasos constituyentes de los procesos de desarrollo y crecimiento óseo que explican las variaciones existentes en la estructura del hueso.
6. Examinar los factores nutricionales y hormonales que influyen sobre el crecimiento.
7. Describir la remodelación del esqueleto, contando los efectos que ejercen la nutrición, las hormonas, el ejercicio y el envejecimiento sobre el desarrollo del hueso y el sistema óseo.
8. Enunciar los diversos tipos de fracturas y explicar su consolidación.
9. Clasificar los huesos según su forma y ofrecer ejemplos de cada tipo.

El sistema óseo reúne los diversos huesos del esqueleto más los cartílagos, ligamentos y otros tejidos conjuntivos que sirven para estabilizarlos o interconectarlos. Los huesos son algo más que un mero soporte del que cuelgan músculos, pues sostienen nuestro peso y actúan junto a ellos en la producción de movimientos precisos y controlados. Sin un armazón óseo al que sujetarse, las contracciones tan sólo conseguirían acortar y engrosar los músculos. Con su intervención han de tirar del esqueleto para que nos sentemos, nos pongamos de pie, caminemos o corramos. El esqueleto cumple otras muchas funciones vitales; incluso algunas pueden resultar desconocidas, por lo que comenzaremos este capítulo con un resumen de los principales cometidos que desempeña.

1. *Soporte:* el sistema óseo ofrece apoyo estructural a todo el cuerpo. Cada hueso o cada grupo de huesos proporcionan un armazón sobre el que fijar los tejidos blandos y los órganos.
2. *Almacenamiento de minerales:* las sales cálcicas del hueso representan una valiosa reserva mineral que mantiene las concentraciones normales de los iones de calcio y fosfato en los líquidos corporales. El calcio es el mineral más abundante del organismo humano. Cualquier cuerpo típico contiene 1-2 kg de calcio, con más del 98% se encuentra depositado en los huesos del esqueleto.
3. *Producción de células sanguíneas:* los glóbulos rojos, los glóbulos blancos y las plaquetas se elaboran en la médula roja que rellena la cavidad interna de muchos huesos. El lugar que ocupa la médula ósea en cuanto a la formación de las células sanguíneas se describirá en los capítulos posteriores dedicados al aparato cardiovascular y el sistema linfático (v. capítulos 20 y 23).
4. *Protección:* los tejidos y los órganos más delicados suelen estar rodeados por elementos óseos. Las costillas protegen el corazón y los pulmones, el cráneo encierra el encéfalo, las vértebras resguardan la médula espinal y la pelvis acoge los órganos digestivos y genitales más frágiles.
5. *Apalancamiento:* muchos huesos del esqueleto actúan como palancas. De esta forma, pueden modificar la magnitud y la dirección de las fuerzas generadas por los músculos estriados. Los movimientos provocados van desde la actividad fina en la yema de un dedo hasta los cambios potentes en la postura de todo el cuerpo.

Este capítulo describe la estructura, el desarrollo y el crecimiento de los huesos. Los dos siguientes los dividen en dos partes: el *esqueleto de la cabeza y el tronco* (compuesto por los huesos del cráneo, la columna vertebral, el esternón y las costillas) y el *esqueleto de las extremidades* (que consta de los huesos de los miembros y aquellos otros que están asociados a ellos como su medio de conexión con el tronco en el hombro y en la pelvis).

El último capítulo de este grupo desarrolla todo lo relacionado con las articulaciones, el punto de reunión entre los huesos que hace posible el movimiento de uno respecto a otro.

En el fondo, los huesos del esqueleto son órganos dinámicos y complejos, que contienen tejido óseo, otros tejidos conjuntivos, tejido muscular liso y tejido nervioso. A continuación estudiaremos la organización interna de un hueso típico.

Estructura del hueso

El hueso, o **tejido óseo,** es uno de los tejidos conjuntivos de sostén. (En este momento, convendría repasar los apartados dedicados a los tejidos conjuntivos densos, el cartílago y el hueso.) [pp. 66-72]. Al igual que otros de este grupo, el tejido óseo contiene células especializadas y una matriz extracelular constituida por fibras proteínicas y sustancia fundamental. La matriz del tejido óseo es sólida y robusta debido al depósito de sales cálcicas alrededor de las fibras proteínicas.

El tejido óseo suele estar separado de los tejidos que lo rodean por un *periostio* fibroso. Cuando hay otro tejido a su alrededor, la superficie interna del hueso se encuentra revestida por un *endostio* celular.

Organización histológica del hueso maduro

En el capítulo 3 se ofreció la organización básica del tejido óseo [pp. 71-72]. A continuación revisaremos con mayor detenimiento la organización que presentan la matriz y las células del hueso.

Matriz del hueso

En el hueso, casi las dos terceras partes de su peso corresponden al fosfato cálcico, $Ca_3(PO_4)_2$. Esta molécula interactúa con el hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$ para formar cristales de hidroxiapatita, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Al producirse, los cristales también agregan otras sales de calcio, como el carbonato cálcico, e iones del tipo de sodio, magnesio y fluoruro. Estos componentes inorgánicos dan al hueso la oportunidad de oponerse a la compresión. Alrededor de un tercio más de su peso procede de las fibras colágenas, que favorecen la resistencia ósea frente a la tensión. Los osteocitos y otros tipos celulares sólo explican el 2% de la masa de un hueso típico.

Los cristales de fosfato cálcico son muy fuertes, pero relativamente rígidos. Pueden aguantar la compresión, pero es fácil que queden destrozados al verse expuestos a la flexión, la torsión o un impacto brusco. Las fibras colágenas poseen resistencia y flexibilidad. Pueden tolerar el estiramiento, la torsión y la flexión sin problemas, pero al comprimirlas, simplemente se salen de su posición. En el hueso, las fibras colágenas aportan un armazón orgánico para la formación de los cristales minerales. Los cristales de hidroxiapatita generan pequeñas láminas ubicadas al lado de las fibras colágenas. El resultado es una combinación de proteínas-cristales, dotada de propiedades intermedias entre las del colágeno y las de los cristales minerales puros.

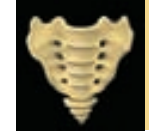
Células del hueso maduro [v. figura 5.1]

El hueso contiene una población característica de células, que comprende *células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos* y *osteoclastos* (**v. figura 5.1a**).

Osteocitos Las células óseas maduras son los **osteocitos** (*osteon,* hueso), que mantienen y controlan el contenido de proteínas y minerales que hay en la matriz a su alrededor. Tal como se verá en un próximo apartado, los minerales de la matriz están en un proceso de reciclado permanente. Cada osteocito dirige la liberación de calcio hacia la sangre a partir del hueso, así como el depósito de sales cálcicas en la matriz que los rodea. Los osteocitos ocupan pequeñas cavidades, llamadas **lagunas,** que se encuentran encajonadas entre las capas de matriz calcificada, que reciben el nombre de **laminillas** (*lamella,* lámina delgada) (**v. figura 5.1b-d**). Existen unos canales denominados **conductillos** («conductos pequeños»), que irradian de una laguna a otra a través de la matriz y en dirección hacia las superficies libres y los vasos sanguíneos adyacentes. Los conductillos, que contienen unas prolongaciones citoplásmicas delgadas además de sustancia fundamental, conectan entre sí los osteocitos situados en lagunas contiguas. Estas prolongaciones están enlazadas por uniones intercelulares herméticas, y ofrecen una vía para la difusión de nutrientes y productos de desecho de un osteocito a otro por medio de las uniones comunicantes.

Osteoblastos Las células de forma cúbica que están presentes en la superficie interna o externa de un hueso son los **osteoblastos** (*blast,* precursor). Este grupo segrega los componentes orgánicos de la matriz ósea. Dicha sustancia, llamada **osteoide,** más adelante se mineraliza por un mecanismo desconocido. Los osteoblastos son los responsables de la producción del hueso nuevo, proceso llamado **osteogenia** (*gennan,* producir). Aunque no se ha identificado cuál es su estímulo exacto, se cree que pueden responder a factores mecánicos u hormonales para poner en marcha la osteogenia. Si un osteoblasto queda rodeado de matriz, se diferencia en un osteocito.

Células osteoprogenitoras El tejido óseo también contiene una pequeña cantidad de **células osteoprogenitoras** (*progenitor,* antepasado), que se diferencian a partir del mesénquima y están presentes en la capa más interna del periostio y en el *endostio* que reviste la cavidad de la médula. Estas células pue-



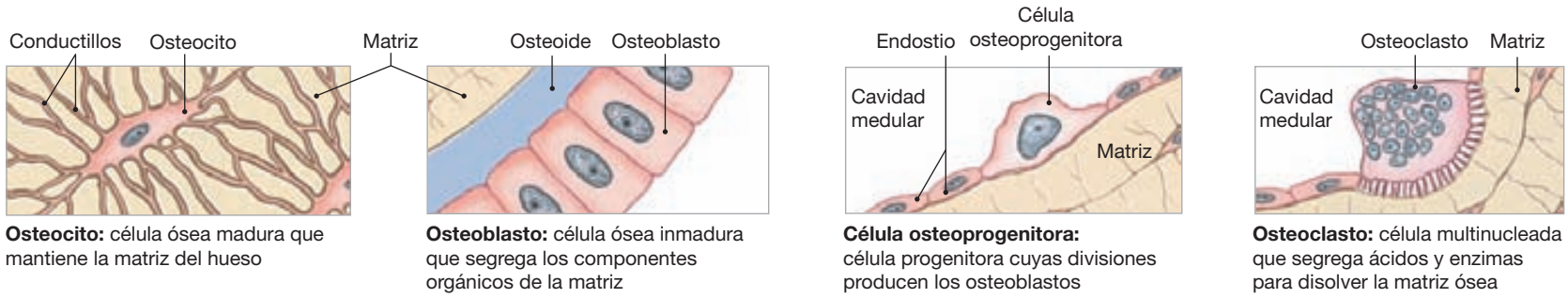


Figura 5.1 Estructura histológica de un hueso típico

El tejido óseo contiene células especializadas y una densa matriz extracelular que lleva sales de calcio. **(a)** Células del hueso. **(b)** Microfotografía electrónica de barrido que muestra varias osteonas en el hueso compacto. **(c)** Corte fino a través del hueso compacto; con esta técnica, la matriz intacta y los conductos centrales aparecen de color blanco, y las lagunas y los conductillos de negro. **(d)** Una osteona aislada a mayor aumento. *[(b) © R. G. Kessel y R. H. Kardon, «Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning electrón Microscopy», W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.]*

den dividirse para producir nuevas células hijas que se diferencien en osteoblastos. La capacidad de generar más osteoblastos cobra suma importancia tras sufrir una fisura o una fractura en un hueso. En un apartado posterior estudiaremos el proceso de reparación más a fondo.

Osteoclastos Los **osteoclastos** son unas células grandes multinucleadas, procedentes de las mismas células progenitoras de las que derivan los monocitos y los neutrófilos [pp. 62-63]. Se encargan de segregar ácidos mediante la exocitosis de los lisosomas. Los ácidos disuelven la matriz ósea y liberan aminoácidos junto al calcio y el fosfato almacenados. Este proceso de erosión, llamado **osteólisis,** eleva las concentraciones de calcio y de fosfato en los líquidos corporales. Los osteoclastos están siempre destruyendo matriz y soltando minerales, y los osteoblastos produciendo siempre nueva matriz que se une con rapidez a los minerales. Es muy importante mantener el equilibrio entre las actividades de los osteoblastos y los osteoclastos; cuando el ritmo de eliminación de las sales cálcicas por los osteoclastos supera su depósito por los osteoblastos, los huesos se debilitan. Si predomina la actividad de los osteoblastos, los huesos se vuelven más sólidos y macizos.

Hueso compacto y esponjoso [v. figura 5.2]

Hay dos tipos de tejido óseo: *hueso compacto* o *hueso denso,* y *hueso esponjoso* o *hueso trabecular.* El **hueso compacto** es relativamente denso y sólido, mientras que el **hueso esponjoso** forma una red espaciosa de espolones y láminas. Ambos están presentes en cualquier hueso típico del esqueleto, como el *húmero,* que ocupa la parte proximal de la extremidad superior, y el *fémur,* que está en la parte proximal de la extremidad inferior. El tejido óseo compacto forma las paredes de la **cavidad medular** (médula) (v. figura 5.2a), y lo rodea una capa interna de hueso esponjoso. La cavidad medular contiene la **médula ósea,** que es un tejido conjuntivo laxo en el que pueden predominar los adipocitos **(médula amarilla)** o una mezcla de glóbulos rojos y blancos maduros e inmaduros, así como las células progenitoras que los producen **(médula roja).**

Diferencias estructurales entre el hueso compacto y el esponjoso

La composición de la matriz es la misma en el hueso compacto que en el esponjoso, pero en lo que difieren es en la disposición tridimensional de los osteocitos, los conductillos y las laminillas.

Hueso compacto [v. figuras 5.1b-d/5.2] La unidad funcional básica del hueso compacto maduro es la **osteona** cilíndrica, o *sistema de Havers* (v. figura 5.1b-d). En su interior, los osteocitos están dispuestos en capas concéntricas alrededor de un **conducto central,** o *conducto de Havers,* que contiene los vasos sanguíneos que se encargan de su irrigación. Los conductos centrales suelen seguir un trayecto paralelo a la superficie del hueso (v. figura 5.2a). Otras vías de conducción, denominadas **conductos perforantes** o *conductos de Volkmann,* son más o menos perpendiculares a la superficie (v. figura 5.2b). Los vasos sanguíneos de los conductos perforantes llevan la sangre a las osteonas más profundas en el hueso y abastecen la cavidad medular interior. Las laminillas de cada osteona son cilíndricas y se encuentran alineadas con una orientación paralela al eje longitudinal del hueso. Cuando se produce esta alineación reci-

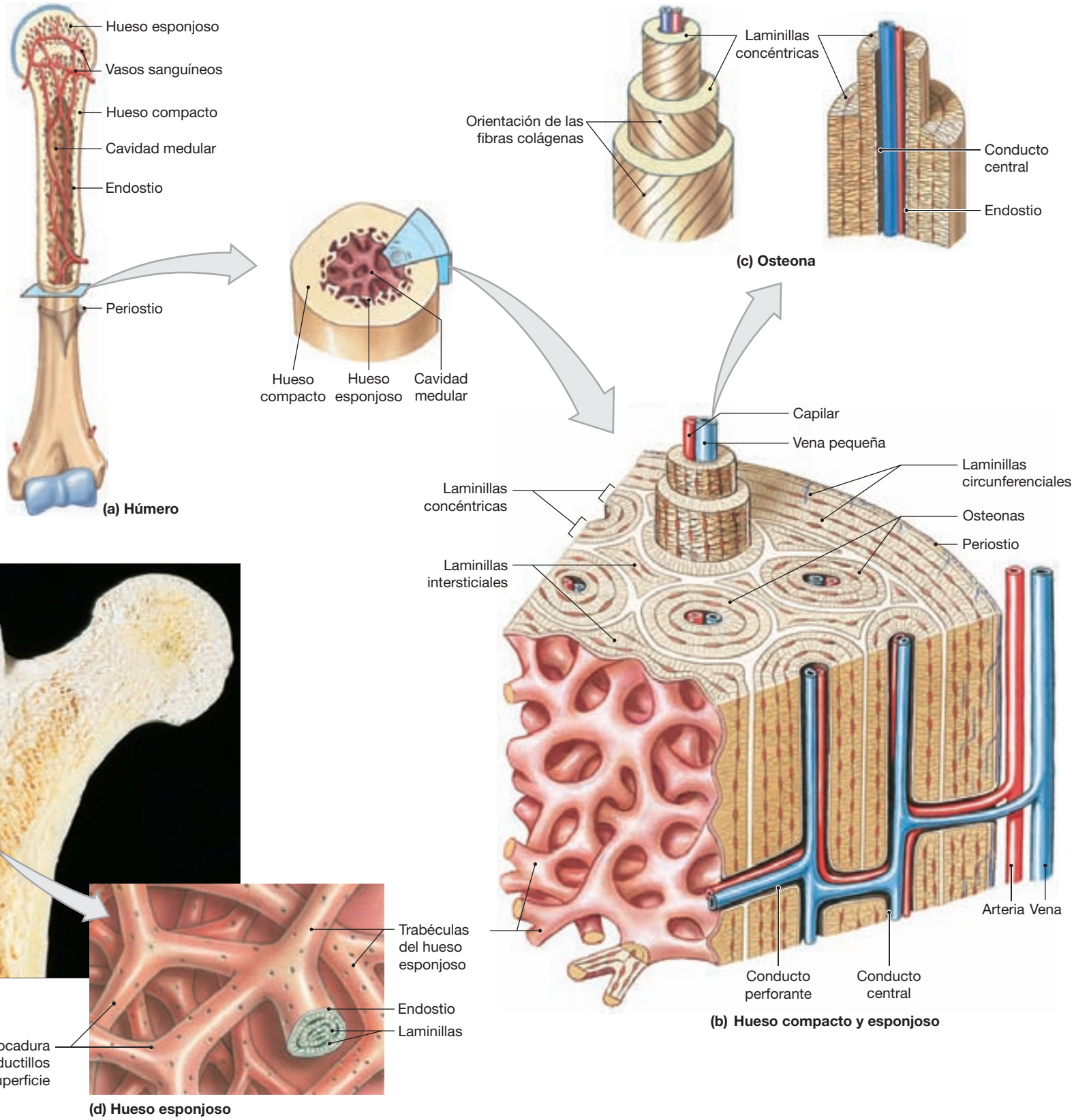


Figura 5.2 Organización interna en unos huesos representativos

Relación estructural entre el hueso compacto y el hueso esponjoso en varios huesos representativos. **(a)** Anatomía macroscópica del húmero. **(b)** Vista esquemática sobre la organización histológica del hueso compacto y esponjoso. **(c)** Organización de las fibras colágenas dentro de las laminillas concéntricas. **(d)** Localización y estructura del hueso esponjoso. La fotografía ofrece la vista de una sección en el extremo proximal del fémur.

ben el nombre de *laminillas concéntricas.* En conjunto, por su disposición forman una serie de anillos concéntricos, parecidos al «blanco de una diana», en torno al conducto central (**v. figura 5.2b,c**). Las fibras colágenas espirales que las recorren en toda su extensión fortalecen a la osteona en su conjunto, junto a las variaciones producidas en la dirección de su giro entre las laminillas adyacentes entre sí. Los conductillos interconectan las lagunas de una osteona y crean una red ramificada que llega hasta el conducto central. Las *laminillas intersticiales,* en cambio, llenan los espacios que quedan entre las osteonas del hueso compacto. Según su localización, pueden haberse generado durante el crecimiento del hueso, o representar restos de osteonas después de que los

osteoclastos hayan reciclado los componentes de su matriz en medio del proceso de reparación o remodelación del hueso. Un tercer tipo de laminilla, la *laminilla circunferencial,* aparece en las superficies externa e interna del hueso. En el caso de las extremidades, forman las superficies externa e interna de la diáfisis, como sucede en el húmero o el fémur (**v. figura 5.2b**).

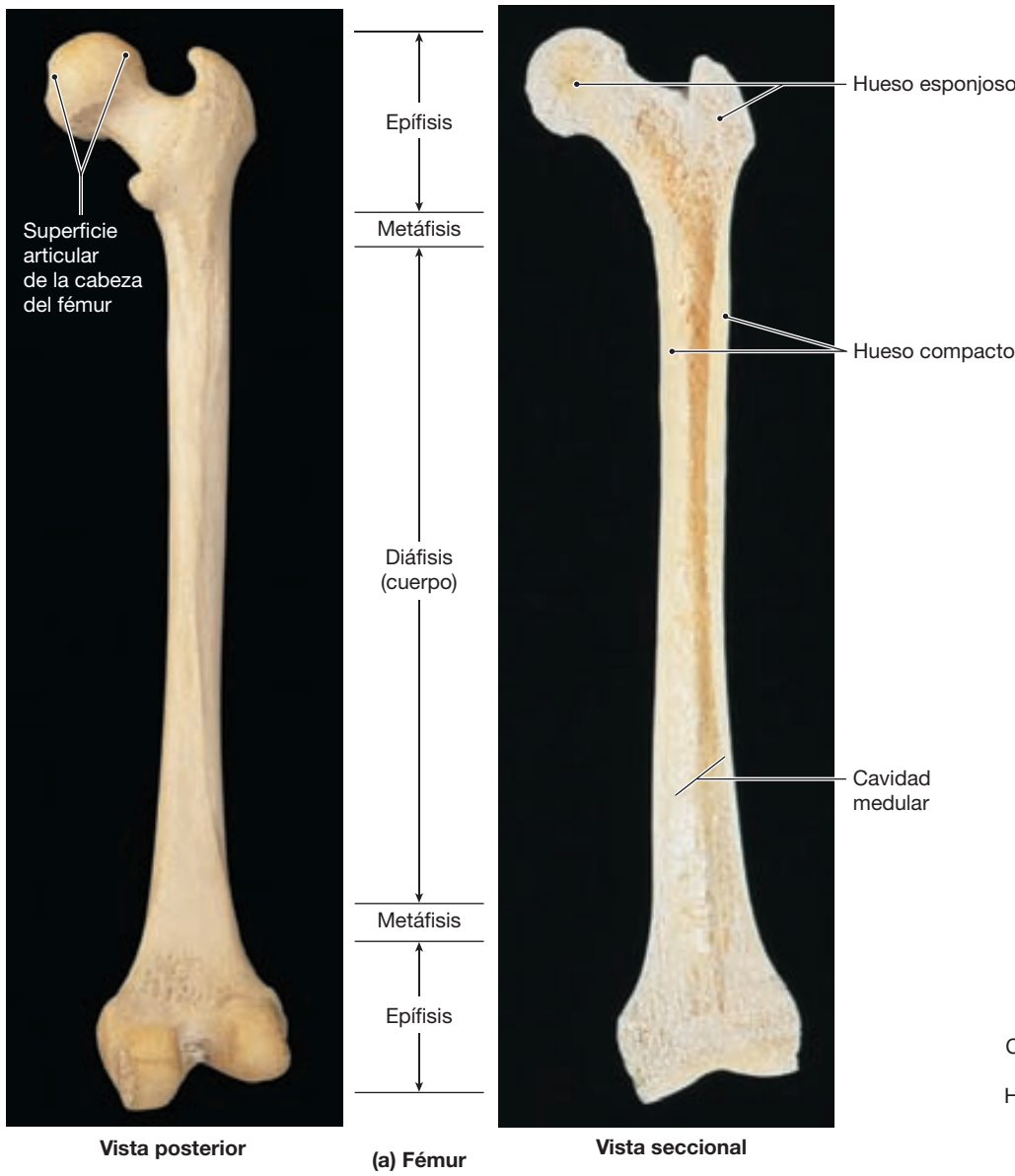
Hueso esponjoso [v. figura 5.2d] La principal diferencia entre el hueso compacto y el hueso esponjoso (también llamado *hueso trabecular*) estriba en que este último está organizado en espolones paralelos o láminas gruesas ramificadas que se denominan trabéculas («viga pequeña») o *espículas.* Entre las trabéculas del hueso esponjoso existen numerosos espacios de interconexión. Asimismo, también posee laminillas y, si las trabéculas alcanzan el grosor suficiente, habrá osteonas.

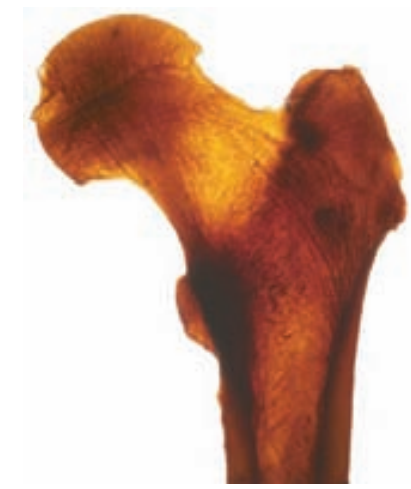
En lo que atañe a las células asociadas y a la estructura y la composición de sus laminillas, el hueso esponjoso no difiere del compacto. Forma una estructura espaciosa (**v. figura 5.2d**) y, por esta razón, es mucho más ligero que él. Sin embargo, la ramificación de las trabéculas otorga al hueso esponjoso una considerable resistencia, aunque tenga un peso relativamente liviano. Por tanto, su presencia sirve para aligerar el esqueleto y facilita que los músculos pongan en movimiento los huesos. De esta manera, aparece en cualquier zona que no reciba una sobrecarga intensa ni tampoco donde lleguen fuerzas con múltiples direcciones.

Diferencias funcionales entre el hueso compacto y el esponjoso [v. figura 5.3]

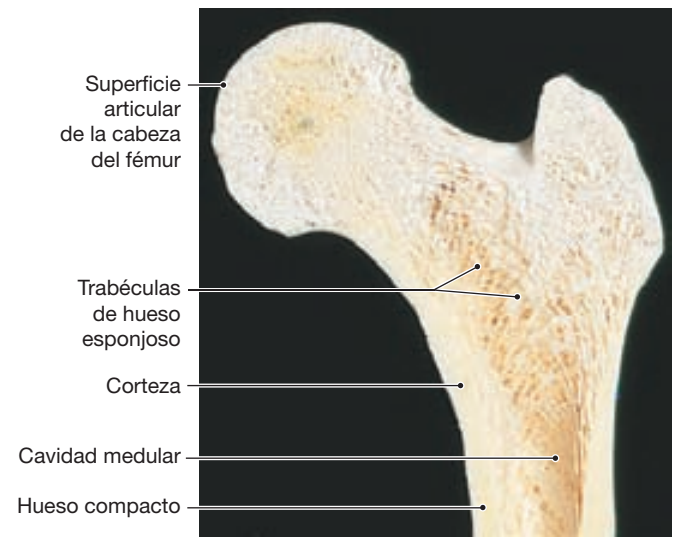
Las superficies óseas están cubiertas por una capa de hueso compacto; su espesor varía de una región a otra y de un hueso a otro. Esta capa superficial a su vez está revestida por el *periostio,* un recubrimiento de tejido conjuntivo que se encuentra unido a la fascia profunda. El periostio no falta más que en el interior de las articulaciones, donde los bordes o los extremos de dos huesos establecen un contacto. En algunos casos, los dos huesos están interconectados entre sí por fibras colágenas o por un bloque de cartílago. En las articulaciones más móviles y llenas de líquido *(sinovial),* hay unos *cartílagos articulares* hialinos que cubren las superficies óseas enfrentadas.

El hueso compacto es más grueso en aquella zona que recibe cargas procedentes de una gama limitada de direcciones. La **figura 5.3a** muestra la anatomía





(b) Orientación de las trabéculas en la epífisis



(c) Epífisis, vista seccional

Figura 5.3 Anatomía de un hueso representativo
(a) El fémur, el esqueleto del muslo, en una vista superficial y en un corte. Este hueso tiene una diáfisis (cuerpo) cuyas paredes son de hueso compacto y unas epífisis (extremos) rellenas de hueso esponjoso. La metáfisis separa la diáfisis de la epífisis en cada extremo del cuerpo. El peso corporal pasa al fémur en la articulación coxofemoral. Al ocupar una situación descentrada con respecto al eje de la diáfisis, esta carga se distribuye a lo largo del hueso de manera que la porción medial de la díafisis se ve comprimida y la lateral estirada. **(b)** Fémur íntegro transparentado por medios químicos como forma de manifestar la orientación de las trabéculas en la epífisis. **(c)** Fotografía que muestra la epífisis tras su corte.

general del *fémur,* que forma el esqueleto proximal de la extremidad inferior. El hueso compacto de la **corteza** rodea a la *cavidad medular* (*medulla,* parte más interna). El hueso tiene dos extremos, o **epífisis** (*epi-,* encima + *physis,* crecimiento), separados por una **diáfisis** tubular («crecimiento en medio») o **cuerpo.** La diáfisis se encuentra conectada a la epífisis por una zona estrecha llamada **metáfisis.** La figura 5.3 muestra la organización que adopta el hueso compacto y el hueso esponjoso dentro del fémur. En condiciones normales, el cuerpo constituido por hueso compacto transmite las cargas aplicadas desde una epífisis a la otra. Por ejemplo, en bipedestación, la diáfisis femoral traslada el peso corporal de la cadera a la rodilla. Las osteonas de la diáfisis son paralelas a su eje longitudinal, y por esta razón el fémur resiste muy bien las sobrecargas que siguen esta dirección. Cada osteona puede concebirse como si fuera una paja de las utilizadas para beber, con las paredes muy gruesas. Al tratar de empujar uno de sus extremos contra el otro, parece bastante fuerte. Sin embargo, si se la sujeta por ellos y se tira de un lado, se quebrará con facilidad. De forma análoga, un hueso largo no se dobla cuando se aplican fuerzas sobre sus extremos, pero un golpe lateral sobre su diáfisis puede romperlo sin grandes problemas, o causar una *fractura.*

El hueso esponjoso no es tan macizo como el compacto, pero tiene una capacidad muy superior de resistir las cargas aplicadas siguiendo muchas direcciones diferentes. Las epífisis del fémur se encuentran rellenas de hueso esponjoso, y la figura 5.3b,c muestra la alineación que siguen sus trabéculas en el caso de la más proximal. Las trabéculas están orientadas según las líneas de presión, pero presentan amplios apoyos transversales. En la epífisis proximal trasladan las fuerzas desde la cadera hasta la diáfisis femoral a través de la metáfisis; en la distal, las mandan hasta la pierna a través de la articulación de la rodilla. Aparte de reducir el peso y manejar cargas que actúan desde múltiples direcciones, el armazón trabecular espacioso ofrece apoyo y protección a las células de la médula ósea. La médula amarilla, presente a menudo en la cavidad medular de la diáfisis, constituye una reserva de energía importante. En cambio, las extensas regiones de médula roja, como las que existen en el hueso esponjoso de las epífisis proximales, son territorios importantes para la hematopoyesis.

Periostio y endostio [v. figura 5.4]

La superficie externa de un hueso suele estar recubierta por un **periostio** (v. figura 5.4a). Esta capa: 1) aísla y protege al hueso de los tejidos que lo rodean; 2) ofrece una vía para recibir su irrigación e inervación y un punto de inserción; 3) participa activamente en el crecimiento y la reparación del hueso, y 4) fija el

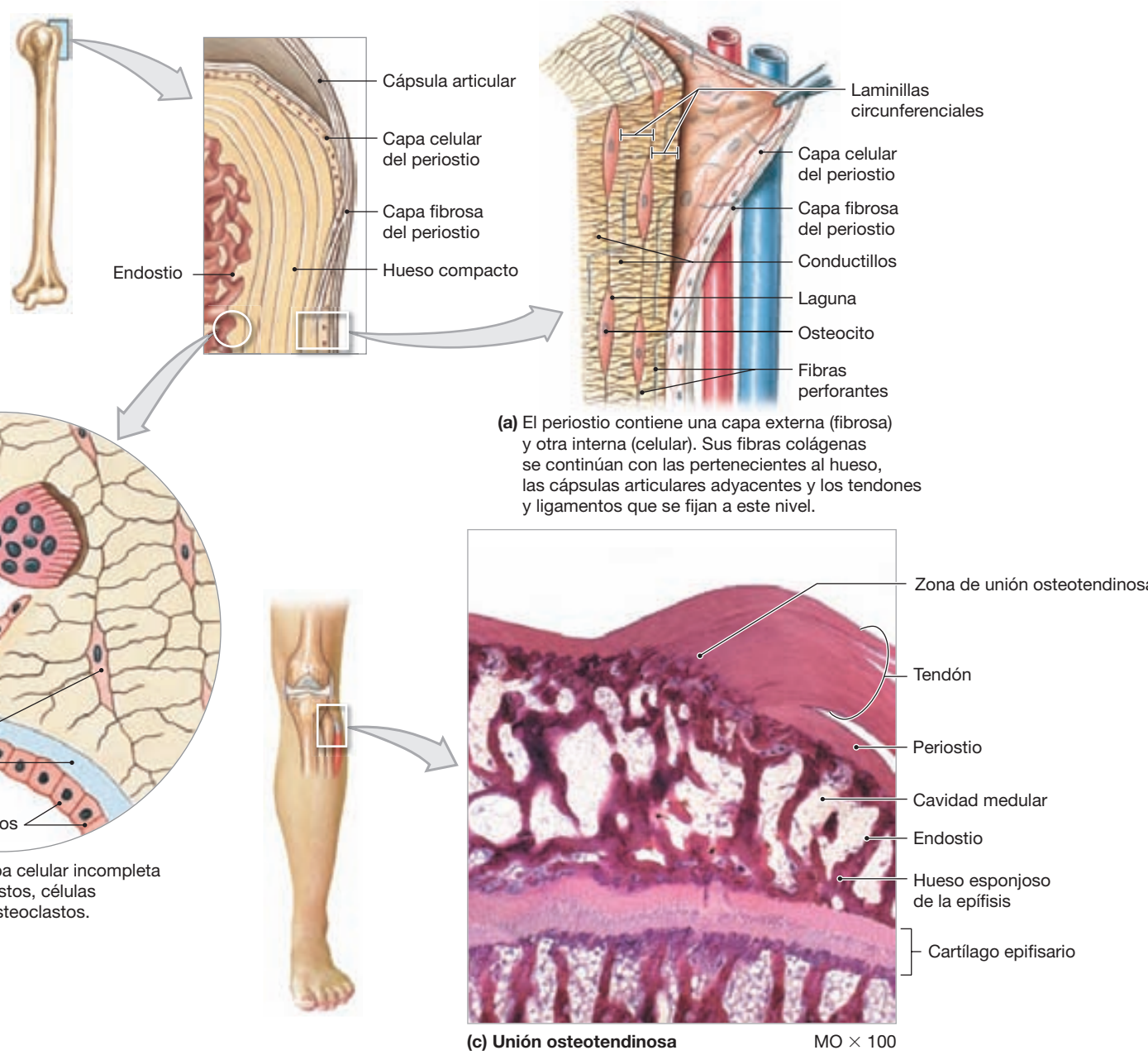


Figura 5.4 Anatomía e histología del periostio y el endostio
Representación esquemática de la localización del periostio y el endostio, y de su asociación a otras estructuras óseas; el corte histológico muestra el periostio y el endostio. **(a)** Periostio. **(b)** Endostio. **(c)** Unión osteotendinosa.

Nota clínica

Raquitismo La articulación coxofemoral está compuesta por la cabeza del fémur y la oquedad correspondiente en la cara lateral del hueso coxal. La cabeza femoral se orienta en sentido medial, y el peso del cuerpo comprime el lado medial de la diáfisis. Como la aplicación de la fuerza está descentrada, el hueso presenta una tendencia a doblarse con una inclinación lateral. El otro lado del cuerpo, el que se opone a esta flexión, queda sometido a una carga de estiramiento, o tensión. De este modo, si un trastorno reduce la cantidad de sales cálcicas en el esqueleto, esa parte va a torcerse. El **raquitismo** suele aparecer en los niños debido a la falta de vitamina D; esta sustancia es esencial para la absorción normal de calcio y su depósito en el esqueleto. En el raquitismo, los huesos presentan una escasa mineralización, y se vuelven muy flexibles. Las personas afectadas tienen las piernas arqueadas como rasgo propio de su aspecto, pues los huesos del muslo y los de la pierna se curvan bajo el peso del cuerpo.

hueso a la red de tejido conjuntivo que forma la fascia profunda. En cambio, no hay nada de periostio alrededor de los huesos sesamoideos, ni tampoco está presente en la zona de unión con los tendones, los ligamentos o las cápsulas articulares, ni en las regiones de la superficie ósea provistas de cartílagos articulares.

El periostio consta de una capa fibrosa externa de tejido conjuntivo fibroso denso y una capa celular interna que contiene células osteoprogenitoras. Cuando un hueso no está en fase de crecimiento o reparación, hay pocas células osteoprogenitoras que estén visibles en la capa celular.

Cerca de las articulaciones, el periostio se continúa con la red de tejido conjuntivo que las rodea y contribuye a estabilizarlas. En una articulación llena de líquido *(sinovial),* lo va a hacer con la *cápsula articular* que encierra el complejo articular. Las fibras del periostio también están entrelazadas con las de los tendones que se fijan al hueso (**v. figura 5.4c**). Con el crecimiento óseo, estas fibras tendinosas quedan cementadas a las laminillas superficiales mediante los osteoblastos pertenecientes a la capa celular del periostio. Las fibras colágenas que penetran en el tejido óseo desde los tendones y desde el periostio superficial reciben el nombre de *fibras perforantes* o *fibras de Sharpey* (**v. figura 5.4a**). El proceso de consolidación hace que las fibras tendinosas formen parte de la estructura general del hueso, lo que crea un vínculo mucho más fuerte de lo que sería posible en otras circunstancias. Cualquier tracción muy potente ejercida sobre un tendón o un ligamento normalmente partirá el hueso antes de romper las fibras colágenas que hay en su superficie.

Dentro del hueso, un **endostio** celular reviste la cavidad medular (**v. figura 5.4b**). Esta capa, que también contiene células osteoprogenitoras, cubre las trabéculas de hueso esponjoso y tapiza la superficie interna de los conductos centrales y los conductos perforantes. El endostio está activo durante el crecimiento del hueso y siempre que haya en marcha algún proceso de reparación o remodelación. En general, no suele tener más que una célula de espesor y es una capa incompleta, por lo que la matriz ósea a veces queda al descubierto.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué repercusión ejercería el aumento del cociente entre el colágeno y las sales cálcicas (hidroxiapatita) sobre la resistencia del hueso?
2. Una muestra de hueso manifiesta unas laminillas concéntricas que rodean a un conducto central. ¿Procede de la corteza de un hueso largo o de su cavidad medular?
3. Si en un hueso la actividad de los osteoclastos supera a la de los osteoblastos, ¿cómo influye esto sobre su masa?
4. Si un tóxico destruyera de forma selectiva las células osteoprogenitoras del tejido óseo, ¿qué proceso normal puede verse impedido para el futuro?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Desarrollo y crecimiento del hueso

El crecimiento del esqueleto determina el tamaño y las proporciones de nuestro cuerpo. El esqueleto óseo comienza a formarse unas 6 semanas después de la fecundación, cuando el embrión mide alrededor de 12 mm de longitud. (Antes de este momento, todos los elementos esqueléticos tienen un carácter mesenquimatoso o cartilaginoso.) Durante su desarrollo posterior los huesos experimentan un enorme aumento de tamaño. El crecimiento óseo sigue durante la adolescencia, y algunas porciones habitualmente no dejan de crecer hasta los 25 años. El proceso íntegro está sometido a una estricta regulación y su fracaso afectará a la larga a todos los sistemas corporales. En este apartado trataremos los mecanismos físicos de la *osteogenia* (formación de hueso) y el crecimiento óseo. El siguiente estará dedicado al mantenimiento y la sustitución de las reservas minerales en el esqueleto del adulto.

Durante el desarrollo embrionario, tanto el mesénquima como el cartílago se ven reemplazados por hueso. Este proceso de sustituir otros tejidos por hueso se denomina **osificación.** El proceso de **calcificación** designa el depósito de sales cálcicas en el interior de un tejido. Cualquier tejido puede calcificarse, pero sólo la osificación desemboca en la formación de hueso, aunque hay dos formas principales diferentes. En la *osificación intramembranosa,* el hueso se origina a partir del mesénquima o del tejido conjuntivo fibroso. En la *osificación endocondral,* ocupa el lugar dejado por un modelo cartilaginoso preexistente. Los huesos de las extremidades y el resto de los que cargan peso, como la columna vertebral, surgen por osificación endocondral. La osificación intramembranosa corresponde a la formación de otros elementos óseos como la clavícula, la mandíbula y los huesos planos de la cara y del cráneo.

Osificación intramembranosa [v. figuras 5.5/5.6]

La **osificación intramembranosa,** también llamada *osificación dérmica,* comienza con la diferenciación en osteoblastos de unas células mesenquimatosas dentro del tejido conjuntivo fibroso o embrionario. Esta clase normalmente sucede en las capas más profundas de la dermis, y los elementos resultantes suelen recibir el nombre de **huesos dérmicos** o *huesos membranosos.* Entre sus ejemplos figuran los que forman el techo del cráneo (los *huesos frontal* y *parietal*), la *mandíbula* (maxilar inferior) y la *clavícula.* Los *huesos sesamoideos* surgen en el interior de los tendones; la *rótula* sería un caso de este tipo.

Los huesos membranosos también pueden nacer en otros tejidos conjuntivos sometidos a una sobrecarga mecánica prolongada. Por ejemplo, en los vaqueros del siglo XIX a veces aparecían pequeñas láminas óseas en la dermis de la parte interna del muslo debido al roce y a los impactos continuos contra la montura. En algunos trastornos que afectan al metabolismo del ión calcio o a su excreción, la producción intramembranosa de hueso tiene lugar en numerosas zonas de la dermis y de la fascia profunda. Los huesos que ocupan un lugar anormal se denominan *huesos heterotópicos* (*heteros,* diferente + *topos,* lugar).

La osificación intramembranosa empieza más o menos durante la octava semana del desarrollo embrionario. Los pasos que integran este proceso están explicados en la **figura 5.5** y pueden resumirse de la manera siguiente:

PASO 1. El tejido mesenquimal adquiere una gran vascularización, y las células mesenquimales crecen y se diferencian en osteoblastos. A continuación, los osteoblastos se reúnen y empiezan a segregar los componentes orgánicos de la matriz. Se mineraliza la mezcla resultante de fibras colágenas y osteoide mediante la cristalización de las sales de calcio. El punto donde se inicia la osificación de un hueso recibe la denominación de **centro de osificación.** A medida que se desarrolla el proceso, va apoderándose de nuevos osteoblastos dentro de unos envoltorios óseos, y este es el momento en que se diferencian en osteocitos. Aunque los osteocitos hayan quedado separados por la matriz segregada, mantienen su conexión por unas delgadas prolongaciones citoplásmicas.

Nota clínica

Formación heterotópica de hueso Los huesos *heterotópicos* (*heteros,* diferente + *topos:* lugar) o *ectópicos* (*ektos,* fuera) son *huesos* que nacen en lugares atípicos. Su existencia es una manifestación elocuente de la adaptabilidad de los tejidos conjuntivos. Las células mesenquimatosas progenitoras tienen la capacidad de formar hueso, cartílago o hasta grasa y músculo. Diversos fenómenos físicos o químicos pueden estimular el desarrollo de osteoblastos en los tejidos conjuntivos normales. Por ejemplo, los huesos sesamoideos aparecen en el seno de los tendones, cerca de los puntos de roce y de presión. También puede producirse hueso en el interior de un gran coágulo sanguíneo en la zona de una herida, o en las porciones de la dermis sometidas a un uso prolongado. Otros desencadenantes son las sustancias químicas extrañas y los problemas que afectan a la excreción del calcio y a su almacenamiento. En este proceso puede participar cualquier tejido conjuntivo. La osificación surgida dentro de un tendón o en torno a las articulaciones crea el riesgo de interferir el movimiento y provocar dolor. También puede formarse hueso en los riñones, entre los músculos estriados, en el pericardio, en las paredes arteriales y alrededor de los ojos.

La *miositis osificante* consiste en el depósito de hueso rodeando a los músculos estriados. Los casos leves pueden dimanar de una lesión muscular. Los graves, cuyo origen es genético, ofrecen una notable formación formación heterotópica de hueso. Si el proceso no invierte su curso, los músculos de la espalda, el cuello y las extremidades superiores se verán sustituidos por hueso.

PASO 2. El hueso en formación crece hacia fuera desde su centro de osificación lanzando unos pequeños espolones llamados **espículas.** Aunque el crecimiento óseo todavía avanza aprisionando osteoblastos, la división de las células mesenquimatosas sigue produciendo otros nuevos. Se trata de un proceso activo, y los osteoblastos necesitan oxígeno y la llegada segura de nutrientes. A medida que los vasos sanguíneos se ramifican por la región y se introducen entre las espículas, aumenta la velocidad del crecimiento óseo.

PASO 3. Con el tiempo, aparecen múltiples centros de osificación, y el material recién dejado adopta la estructura de hueso esponjoso. Su depósito constante a cargo de los osteoblastos situados cerca de los vasos sanguíneos, sumado a la remodelación de este hueso que acaba de constituirse por parte de los osteoclastos, produce el hueso compacto de los componentes maduros del cráneo.

La **figura 5.6a** muestra la formación de los huesos del cráneo por osificación intramembranosa en la cabeza de un feto de 10 semanas.

Osificación endocondral [v. figuras 5.6/5.7]

La **osificación endocondral** (*endo,* dentro + *chondros,* cartílago) comienza con la formación de un modelo de cartílago hialino. El desarrollo del esqueleto de las extremidades ofrece un buen ejemplo de este proceso. Cuando el embrión tiene 6 semanas, ha surgido su componente proximal, el *húmero* (miembro superior) o el *fémur* (miembro inferior), pero se compone totalmente de cartílago. Esta estructura sigue aumentando de tamaño por la expansión de la matriz cartilaginosa *(crecimiento intersticial)* y la producción de más cartílago sobre la

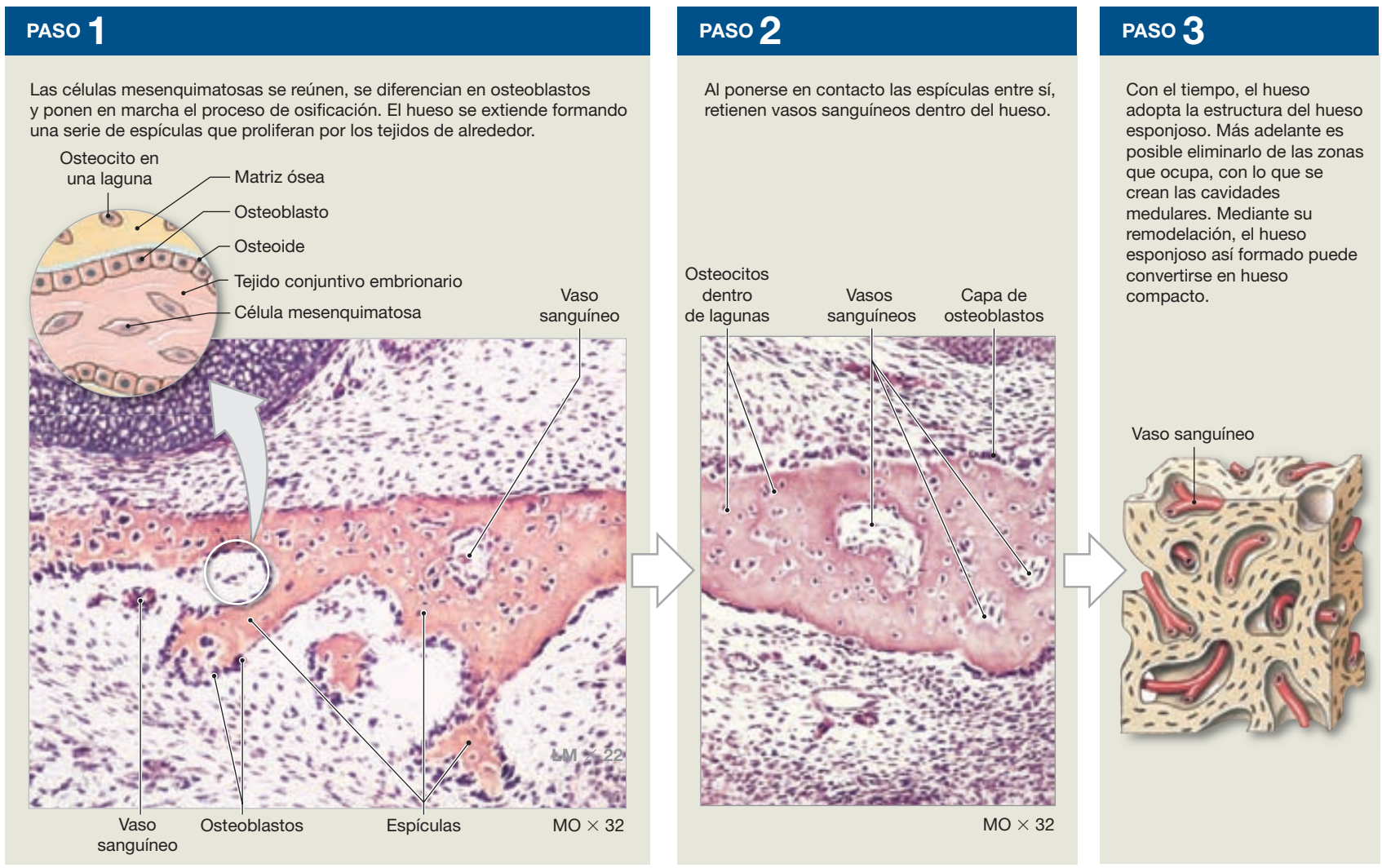

PASO 1
Las células mesenquimatosas se reúnen, se diferencian en osteoblastos y ponen en marcha el proceso de osificación. El hueso se extiende formando una serie de espículas que proliferan por los tejidos de alrededor.
Osteocito en una laguna
Matriz ósea
Osteoblasto
Osteoide
Tejido conjuntivo embrionario
Célula mesenquimatosa
Vaso sanguíneo
LM × 22
Vaso sanguíneo
Osteoblastos
Espículas
MO × 32
PASO 2
Al ponerse en contacto las espículas entre sí, retienen vasos sanguíneos dentro del hueso.
Osteocitos dentro de lagunas
Vasos sanguíneos
Capa de osteoblastos
MO × 32
PASO 3
Con el tiempo, el hueso adopta la estructura del hueso esponjoso. Más adelante es posible eliminarlo de las zonas que ocupa, con lo que se crean las cavidades medulares. Mediante su remodelación, el hueso esponjoso así formado puede convertirse en hueso compacto.
Vaso sanguíneo

Figura 5.5 Histología de la osificación intramembranosa
Pasos en la formación del hueso intramembranoso, desde la agregación de las células mesenquimatosas hasta el hueso esponjoso. Más adelante, este último puede remodelarse y constituir hueso compacto.

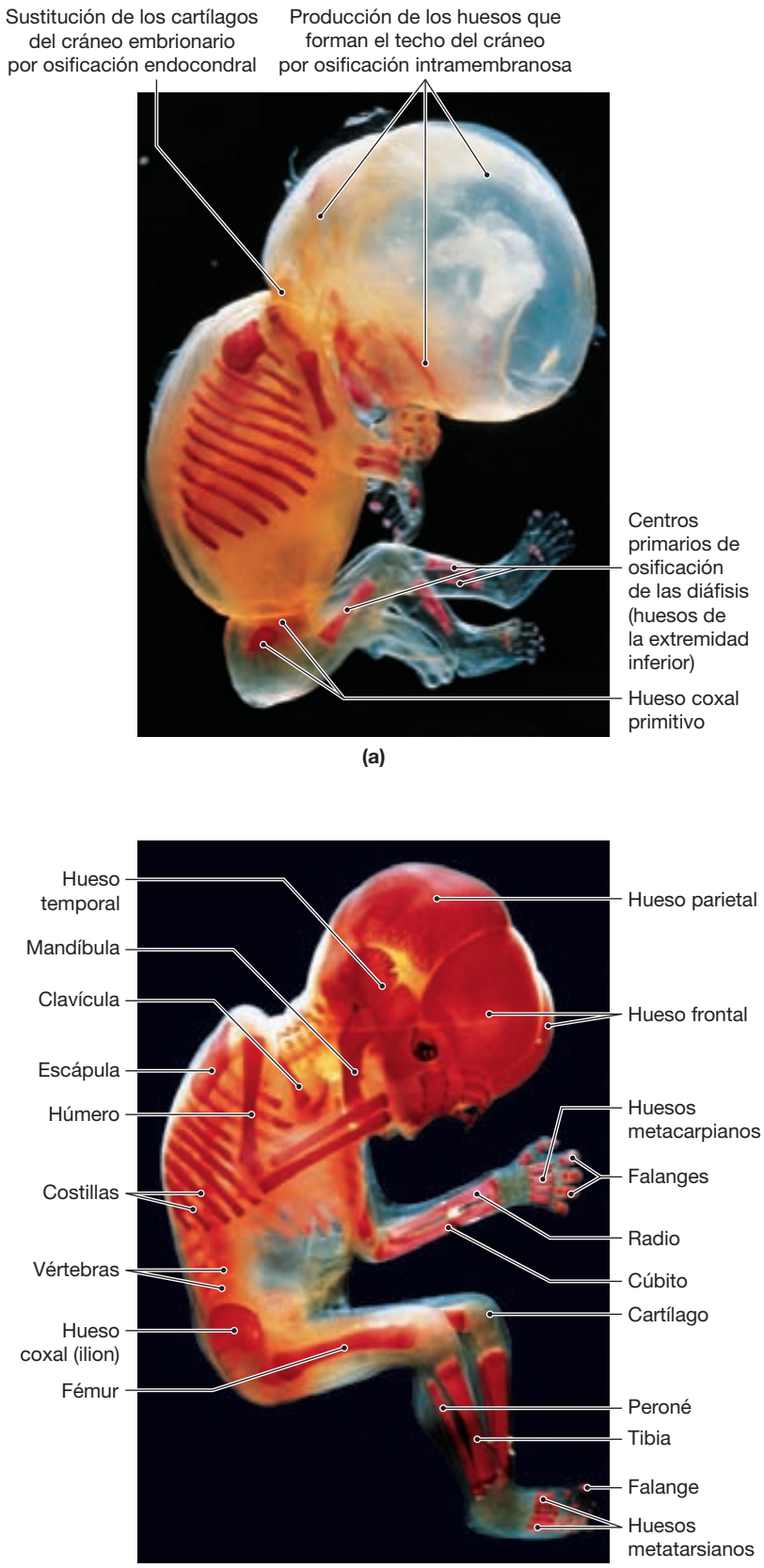


Figura 5.6 Osificación intramembranosa y endocondral fetal
Estos fetos humanos de 10 y 16 semanas se han sometido a una tinción especial (con rojo de alizarina) y se han transparentado para ver los elementos del esqueleto en desarrollo. **(a)** A las 10 semanas, el cráneo fetal muestra hueso membranoso y cartilaginoso con claridad, pero aún no se han fijado las divisiones indicativas de los límites entre los futuros huesos del cráneo. **(b)** A las 16 semanas, el cráneo fetal manifiesta los bordes irregulares de los huesos primitivos. La mayor parte de los componentes que forman el esqueleto de las extremidades surgen por osificación endocondral. Obsérvese el aspecto que tienen los huesos de la muñeca y del tobillo a las 16 semanas en comparación con lo que ocurre a las 10 semanas.

cara externa *(crecimiento por aposición)*. En el capítulo 3 se ofreció la explicación de estos mecanismos [p. 69]. La **figura 5.6b** revela el grado de osificación endocondral presente en los huesos de las extremidades en un feto de 16 semanas. En la **figura 5.7a** se esquematizan los pasos del crecimiento y la osificación de uno de estos huesos.

PASO 1. A medida que el cartílago crece, los condrocitos próximos al centro de la diáfisis aumentan mucho de tamaño y la matriz a su alrededor comienza a calcificarse. Debido a su carencia de nutrientes, estas células mueren y se desintegran.

PASO 2. Las células del pericondrio que rodea a esta región del cartílago se diferencian en osteoblastos. Por entonces, el pericondrio se ha convertido en un periostio, y la **capa osteógena** interna produce en poco tiempo un *collar óseo,* es decir, una capa delgada de hueso compacto en torno a la diáfisis cartilaginosa.

PASO 3. Mientras suceden estos cambios, se incrementa la irrigación del periostio, y emigran capilares y osteoblastos hacia el núcleo del cartílago, para invadir los espacios dejados por los condrocitos en desintegración. A continuación se descompone la matriz cartilaginosa calcificada, y los osteoblastos la sustituyen por hueso esponjoso. La producción de hueso avanza desde este **centro primario de osificación** situado en la diáfisis hacia los dos extremos del modelo cartilaginoso.

PASO 4. Mientras su diámetro es pequeño, toda la diáfisis permanece llena de hueso esponjoso, pero al agrandarse, los osteoclastos erosionan su porción central y crean una cavidad medular. La fase de crecimiento posterior entraña dos procesos distintos: el aumento de *longitud* y el aumento de *diámetro.*

Crecimiento en longitud de un hueso en desarrollo [v. figuras 5.7/5.8]

Durante las primeras fases de la osteogenia, los osteoblastos se desplazan desde el centro primario de osificación hacia las epífisis. Sin embargo, no logran culminar directamente la osificación del modelo, porque el cartílago sigue creciendo a este nivel. La región donde queda sustituido por el hueso corresponde a la metáfisis, la zona de unión entre la diáfisis (cuerpo) y las epífisis óseas. Por el lado que mira hacia la diáfisis, los osteoblastos no dejan de invadir el cartílago y reemplazarlo por hueso. Pero en el que mira hacia la epífisis, se va produciendo nuevo cartílago a la misma velocidad. La situación es parecida a la que mantendrían un par de corredores que vayan uno delante del otro. Mientras lleven el mismo ritmo, pueden seguir durante kilómetros sin chocar. En este caso, tanto los osteoblastos como la epífisis «huyen» del centro primario de osificación. Por consiguiente, los osteoblastos nunca dan caza a la epífisis, aunque el elemento esquelético siga creciendo sin parar.

PASO 5. El siguiente cambio fundamental tiene lugar cuando el centro de las epífisis empieza a calcificarse. Entonces, los capilares y los osteoblastos emigran hacia esas zonas, y crean los **centros secundarios de osificación.** Su momento de aparición varía de un hueso a otro y de una persona a otra. Al nacer, ya pueden estar presentes en los dos extremos del húmero (brazo), el fémur (muslo) y la tibia (pierna), pero en otros huesos estas zonas pasan en estado cartilaginoso toda la infancia.

PASO 6. A la larga, las epífisis acaban por rellenarse de hueso esponjoso. En la cavidad articular sigue al descubierto un delgado casquete del modelo cartilaginoso original formando el **cartílago articular.** Su función consiste en evitar cualquier daño por el contacto entre un hueso y otro dentro de la articulación. En la metáfisis hay una región cartilaginosa relativamente estrecha llamada **cartílago epifisario,** o *cartílago de crecimiento,* que separa en este momento la epífisis de la diáfisis. La **figura 5.7b** muestra la frontera instaurada entre el cartílago en degeneración y los osteoblastos en fase de progresión. Mientras la velocidad de crecimiento que lleve el cartílago siga el mismo ritmo de invasión

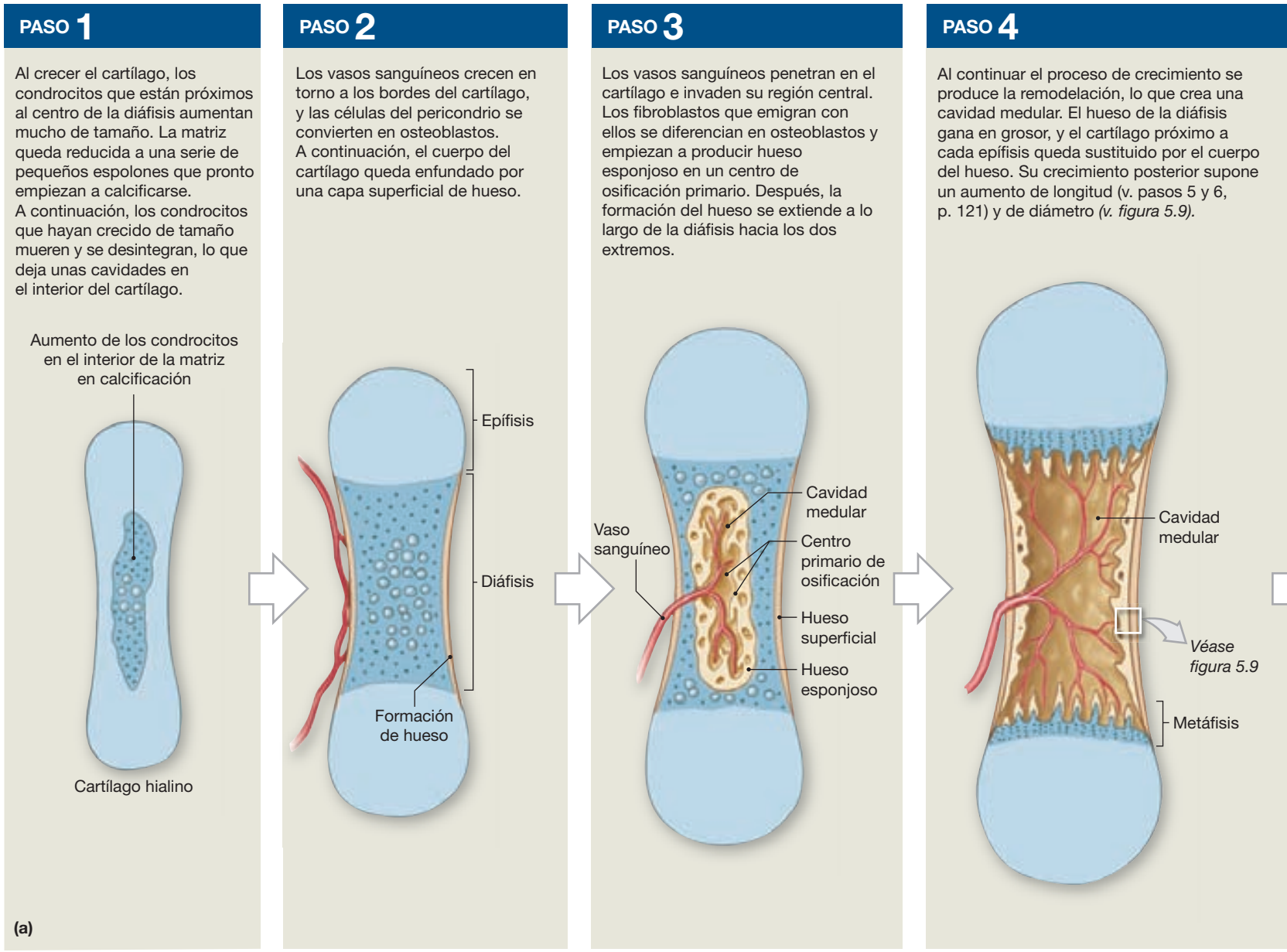

PASO 1
Al crecer el cartílago, los condrocitos que están próximos al centro de la diáfisis aumentan mucho de tamaño. La matriz queda reducida a una serie de pequeños espolones que pronto empiezan a calcificarse.
A continuación, los condrocitos que hayan crecido de tamaño mueren y se desintegran, lo que deja unas cavidades en el interior del cartílago.
Aumento de los condrocitos en el interior de la matriz en calcificación
Cartílago hialino
(a)
PASO 2
Los vasos sanguíneos crecen en torno a los bordes del cartílago, y las células del pericondrio se convierten en osteoblastos.
A continuación, el cuerpo del cartílago queda enfundado por una capa superficial de hueso.
Epífisis
Diáfisis
Formación de hueso
PASO 3
Los vasos sanguíneos penetran en el cartílago e invaden su región central. Los fibroblastos que emigran con ellos se diferencian en osteoblastos y empiezan a producir hueso esponjoso en un centro de osificación primario. Después, la formación del hueso se extiende a lo largo de la diáfisis hacia los dos extremos.
Vaso sanguíneo
Cavidad medular
Centro primario de osificación
Hueso superficial
Hueso esponjoso
PASO 4
Al continuar el proceso de crecimiento se produce la remodelación, lo que crea una cavidad medular. El hueso de la diáfisis gana en grosor, y el cartílago próximo a cada epífisis queda sustituido por el cuerpo del hueso. Su crecimiento posterior supone un aumento de longitud (v. pasos 5 y 6, p. 121) y de diámetro (v. figura 5.9).
Cavidad medular
Véase figura 5.9
Metáfisis

Figura 5.7 Organización anatómica e histológica de la osificación endocondral
(a) Etapas en la formación de un hueso largo a partir de su modelo en cartílago hialino.

mantenido por los osteoblastos, la diáfisis aumenta de longitud, pero el cartílago epifisario sobrevive.

En su interior, los condrocitos están organizados en zonas diferentes (**v. figura 5.7b**). Por el lado epifisario del cartílago, continúan dividiéndose y aumentando, mientras que en su lado diafisario el cartílago queda reemplazado paulatinamente por hueso. En conjunto, el grosor del cartílago epifisario no cambia. Lo que sucede es que su constante ampliación aleja más la epífisis del cuerpo. Al madurar las células hijas, adquieren mayor tamaño y la matriz se calcifica a su alrededor. En el lado del cartílago epifisario orientado hacia el cuerpo, los osteoblastos y los capilares siguen invadiendo estas lagunas y sustituyen el cartílago por hueso recién formado que está organizado en una serie de trabéculas. La **figura 5.8a** ofrece una radiografía correspondiente a los cartílagos epifisarios de la mano en un niño pequeño.

PASO 7. Al llegar a la madurez, la producción del cartílago epifisario pierde velocidad y se acelera la actividad de los osteoblastos. Por esta razón, el cartílago epifisario se estrecha cada vez más, hasta que desaparece por completo. Este fenómeno recibe el nombre de *cierre epifisario*. Muchas veces puede detectarse su antigua localización en las radiografías formando una *línea epifisaria* visible, que subsiste una vez que ha concluido el crecimiento de la epífisis (**v. figura 5.8b**).

Crecimiento en el diámetro de un hueso en desarrollo [v. figura 5.9]

El diámetro de un hueso aumenta mediante un mecanismo de crecimiento por aposición sobre su cara externa. En este proceso, las células osteoprogenitoras de la capa interna del periostio se diferencian en osteoblastos y añaden matriz ósea a su superficie. Esto agrega capas consecutivas de laminillas circunferenciales sobre la superficie externa del hueso. Con el paso del tiempo, las laminillas más profundas se reciclan y quedan sustituidas por las osteonas típicas del hueso compacto.

Sin embargo, los vasos sanguíneos y las fibras colágenas del periostio pueden verse encerradas en la matriz, y esto es lo que pasa. Si así sucede, el proceso de crecimiento óseo por aposición es más complicado, tal como recoge la **figura 5.9a**.

PASO 1. Si los vasos sanguíneos siguen la superficie ósea, el hueso nuevo se deposita en unas crestas de orientación paralela a su trayecto.

PASO 2. Cuando estas crestas longitudinales aumentan de tamaño, crecen unas hacia otras, y el vaso queda metido en una profunda bolsa.

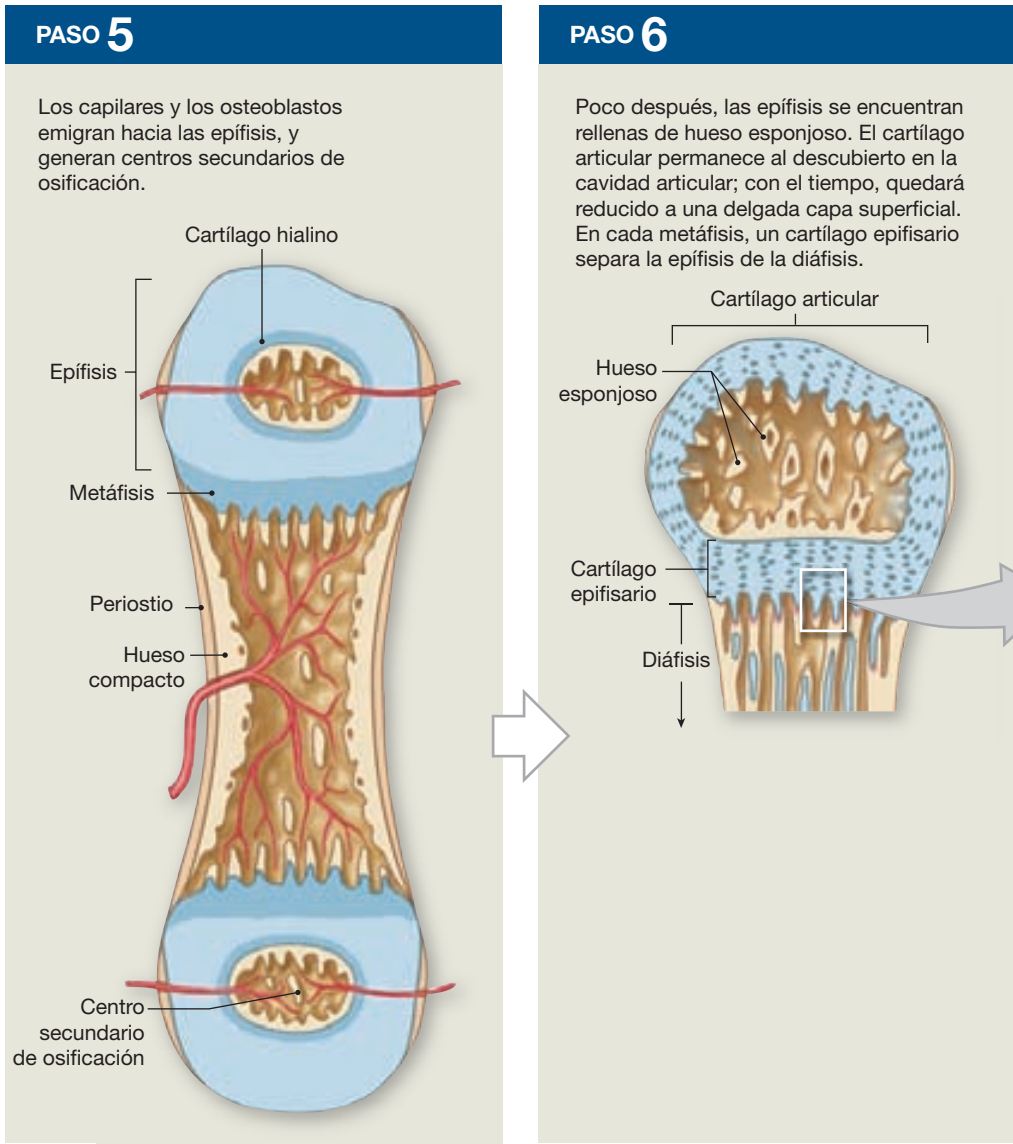
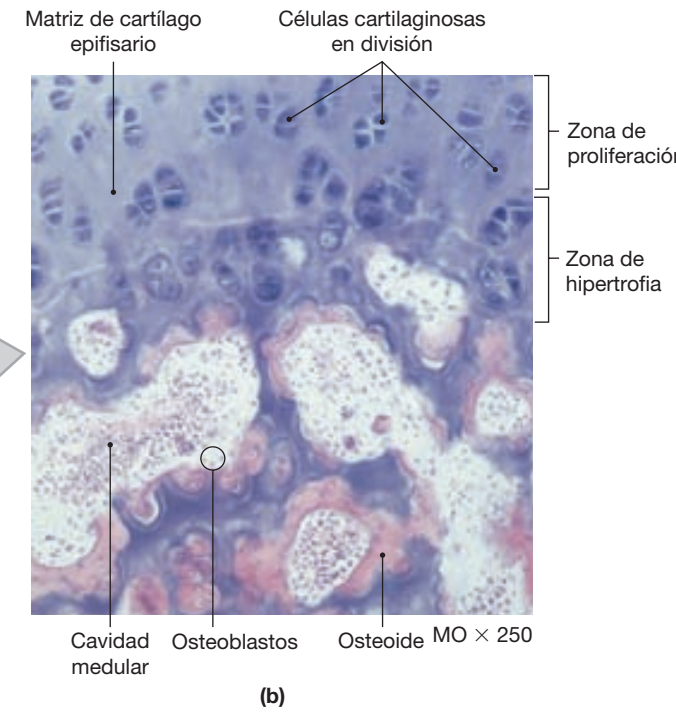
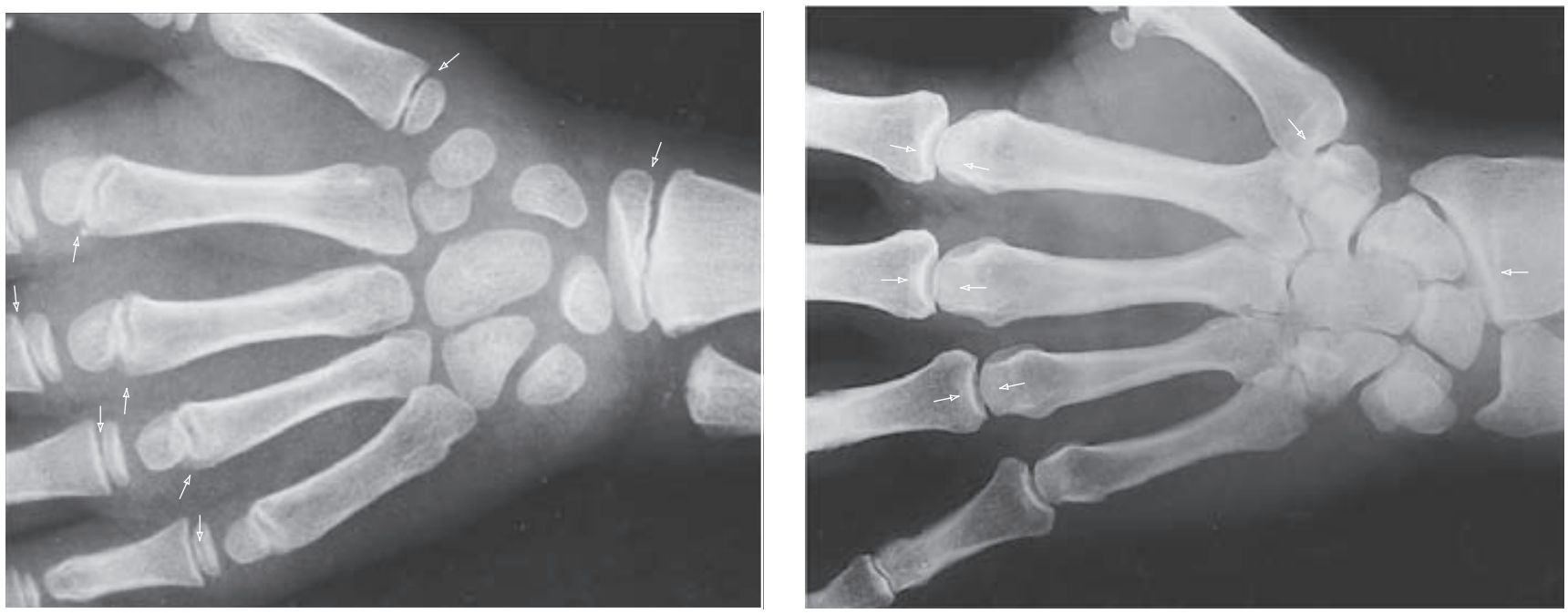

PASO 5
Los capilares y los osteoblastos emigran hacia las epífisis, y generan centros secundarios de osificación.
Cartílago hialino
Epífisis
Metáfisis
Periostio
Hueso compacto
Centro secundario de osificación
PASO 6
Poco después, las epífisis se encuentran rellenas de hueso esponjoso. El cartílago articular permanece al descubierto en la cavidad articular; con el tiempo, quedará reducido a una delgada capa superficial. En cada metáfisis, un cartílago epifisario separa la epífisis de la diáfisis.
Cartílago articular
Hueso esponjoso
Cartílago epifisario
Diáfisis

Figura 5.7 **Organización anatómica e histológica de la osificación endocondral *(cont.)***

(b) Microfotografía óptica que muestra las zonas de cartílago y el avance de los osteoblastos en un cartílago epifisario.



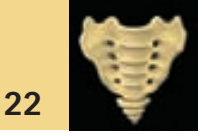
(b)

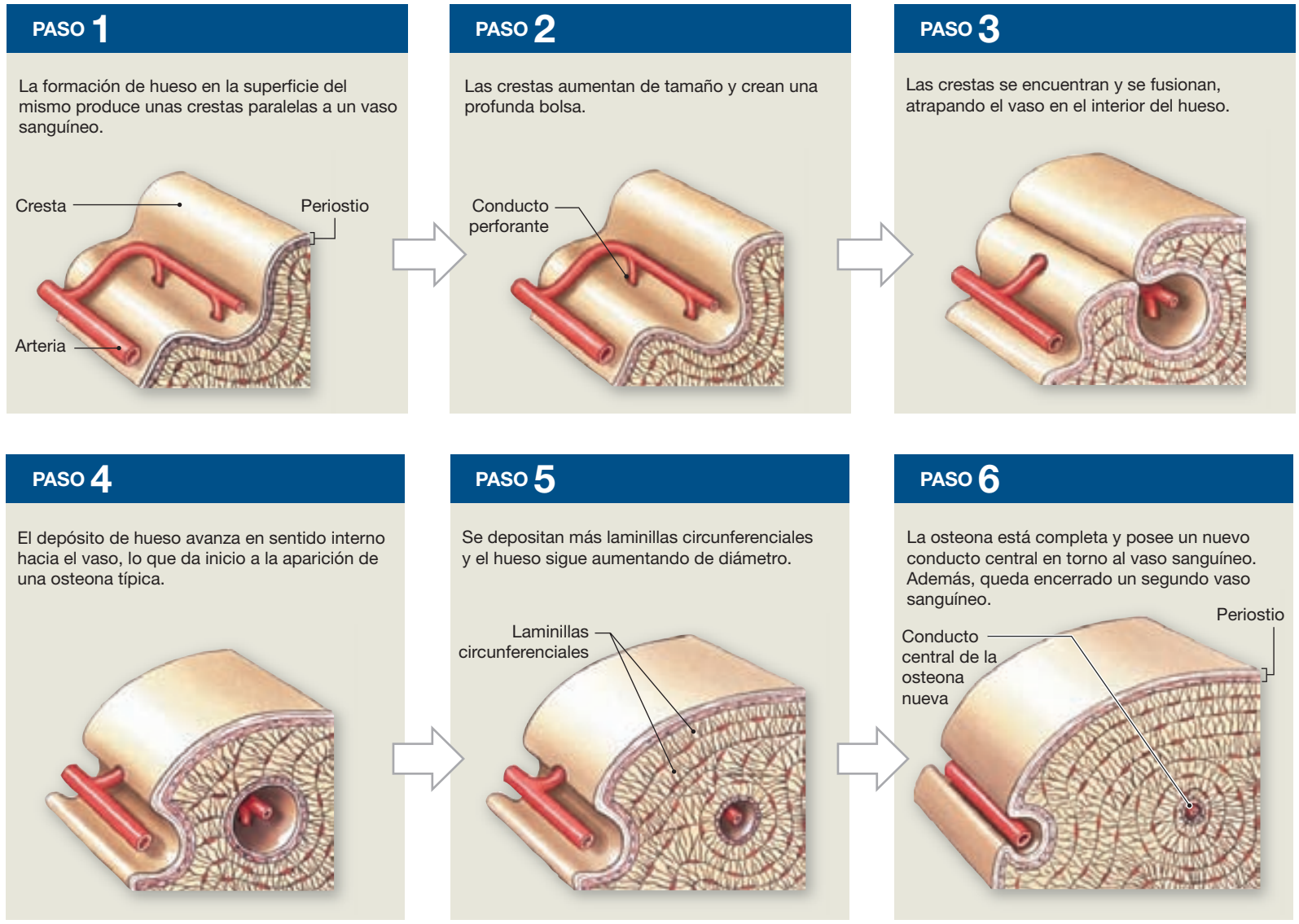


(a) **(b)**

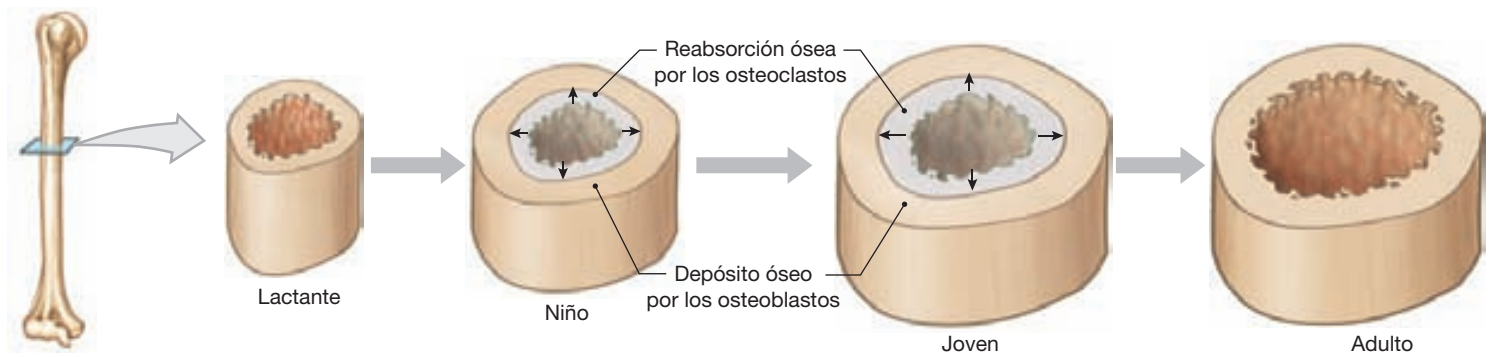
Figura 5.8 **Cartílagos y líneas epifisarias**

El cartílago epifisario es el lugar donde sucede el crecimiento longitudinal en los huesos largos antes de la madurez; la línea epifisaria señala la situación antigua del cartílago epifisario, una vez acabado el crecimiento. **(a)** Radiografía de la mano de un niño pequeño. Las flechas indican la posición de los cartílagos epifisarios. **(b)** Radiografía de la mano de un adulto. Las flechas indican la posición de las líneas epifisarias.




PASO 1
La formación de hueso en la superficie del mismo produce unas crestas paralelas a un vaso sanguíneo.
Cresta
Periostio
Arteria
PASO 2
Las crestas aumentan de tamaño y crean una profunda bolsa.
Conducto perforante
PASO 3
Las crestas se encuentran y se fusionan, atrapando el vaso en el interior del hueso.
PASO 4
El depósito de hueso avanza en sentido interno hacia el vaso, lo que da inicio a la aparición de una osteona típica.
PASO 5
Se depositan más laminillas circunferenciales y el hueso sigue aumentando de diámetro.
Laminillas circunferenciales
PASO 6
La osteona está completa y posee un nuevo conducto central en torno al vaso sanguíneo. Además, queda encerrado un segundo vaso sanguíneo.
Periostio
Conducto central de la osteona nueva

a) Etapas en el crecimiento por aposición



(b) Crecimiento por aposición y remodelación

Figura 5.9 Crecimiento óseo por aposición
(a) Esquemas tridimensionales que explican el mecanismo responsable de incrementar el diámetro de un hueso en crecimiento. **(b)** Un hueso aumenta de diámetro a medida que se añade más tejido sobre su superficie externa. Al mismo tiempo, los osteoclastos reabsorben hueso por su interior, lo que dilata la cavidad medular.

PASO 3. Las dos crestas acaban por reunirse y fusionarse, lo que forma un túnel óseo que contiene un antiguo vaso sanguíneo superficial.

PASOS 4-6. El túnel está revestido por unas células que, hasta el PASO 3, formaban parte del periostio. Las células osteoprogenitoras de esta capa se diferencian en este momento en osteoblastos. De esta manera, segregan nuevo hueso depositado sobre las paredes del túnel, lo que genera unas laminillas concéntricas que a la larga producen una nueva osteona que está organizada en torno a un vaso sanguíneo central.

Mientras se añade hueso sobre la superficie externa, los osteoclastos eliminan matriz ósea por la superficie interna. A raíz de esto, la cavidad medular aumenta gradualmente de tamaño mientras el hueso amplía su diámetro (**v. figura 5.9b**).

Nota clínica

Trastornos congénitos del esqueleto En la **acromegalia** (*akron,* extremo + *megale,* grande) se libera una cantidad excesiva de hormona de crecimiento pasada la pubertad, cuando la mayor parte de los cartílagos epifisarios ya están cerrados. Sin embargo, los cartílagos y los huesos pequeños responden a su presencia, lo que determina un crecimiento anormal de las manos, los pies, el maxilar inferior, el cráneo y la clavícula. Esta situación acaba en un **gigantismo** si hay hipersecreción de la hormona de crecimiento antes de la pubertad. Por el contrario, su producción insuficiente durante este período genera un **enanismo hipofisario.** Las personas con este trastorno son muy bajas, pero a diferencia de los *enanos acondroplásicos* (que se explican más adelante), mantienen unas proporciones normales.

En la **osteomalacia** (*malakia,* blandura), no cambia el tamaño de los componentes esqueléticos, pero pierden contenido mineral, lo que reblandece los huesos. Los osteoblastos trabajan mucho, pero la matriz no acumula suficientes sales de calcio. Este proceso, el **raquitismo,** afecta a los adultos o los niños cuya alimentación lleve unas cantidades deficientes de calcio o de vitamina D_3.

La formación de hueso en exceso recibe el nombre de **hiperostosis.** En la **osteopetrosis** (*petros,* piedra), la masa total del esqueleto aumenta poco a poco como consecuencia de una disminución de la actividad de los osteoclastos. La remodelación se interrumpe y la forma de los huesos cambia poco a poco. En los niños, la osteopetrosis produce toda una diversidad de deformidades esqueléticas. No se sabe cuál es la causa fundamental de este proceso, relativamente infrecuente.

Se han detectado más de 200 enfermedades hereditarias del tejido conjuntivo. Los casos aislados suelen obedecer a una mutación espontánea producida en el ovocito o en el espermatozoide de unos padres sanos. Las personas con estos procesos sí que pueden transmitir el cuadro a sus hijos. La *osteogenia imperfecta,* el *síndrome de Marfan* y la *acondroplasia* son otros tantos ejemplos de trastornos hereditarios caracterizados por una formación anormal de hueso.

La **osteogenia imperfecta,** con una frecuencia más o menos de una persona por cada 20.000, afecta a la organización de las fibras colágenas. El funcionamiento de los osteoblastos se encuentra alterado, el crecimiento es anormal y en sus formas graves los huesos son muy frágiles, lo que da lugar a fracturas repetidas y a una deformación progresiva del esqueleto. También está perturbada la actividad de los fibroblastos, y los ligamentos y los tendones pueden hallarse muy «holgados», lo que permite un movimiento excesivo en las articulaciones. Hay cuatro tipos diferentes ya identificados, y existen grandes variaciones en la gravedad de los síntomas. El número total de fracturas padecidas a lo largo de la vida puede oscilar desde unas pocas hasta cientos, y la forma más acusada suele ser mortal poco después del nacimiento.

El **síndrome de Marfan** también está vinculado a un defecto en la estructura del tejido conjuntivo. Las extremidades larguísimas y delgadísimas, que son el signo físico más evidente de este trastorno, derivan de una formación excesiva de cartílago a nivel de los cartílagos epifisarios. En este caso, la responsable es una alteración en un gen del cromosoma 15 que afecta a la proteína fibrilina. Los efectos sobre el esqueleto resultan llamativos, pero la debilidad de las paredes arteriales asociada es un rasgo más peligroso.

La **acondroplasia** también se relaciona con una actividad epifisaria anormal. Los cartílagos epifisarios del niño crecen con una lentitud inusitada y el adulto tiene unas extremidades cortas y fornidas. Aunque existen otras alteraciones esqueléticas, el tronco es de tamaño normal, y el desarrollo sexual y psíquico queda intacto. Un adulto con acondroplasia recibe el nombre de *enano acondroplásico.* El proceso depende de la presencia de un gen anormal en el cromosoma 4, que afecta al factor de crecimiento fibroblástico. La mayoría de los casos están ocasionados por una mutación espontánea. Si los dos progenitores son acondroplásicos, sus hijos tienen un 25% de probabilidades de nacer sanos, un 50% de sufrir algún grado de alteración y un 25% de heredar dos genes anormales, lo que da lugar a profundas deformidades y conduce a la muerte prematura.

Formación del riego sanguíneo y linfático

[v. figuras 5.2b/5.9/5.10]

El tejido óseo está muy vascularizado, y los huesos del esqueleto reciben un abundante riego sanguíneo. En un hueso típico como el húmero, aparecen cuatro grupos fundamentales de vasos sanguíneos (**v. figura 5.10**).

1. *La arteria y la vena nutricia:* estas estructuras se forman cuando los vasos sanguíneos invaden el modelo cartilaginoso al principio de la osificación endocondral. Normalmente, sólo hay una **arteria nutricia** y una **vena nutricia,** que penetran en la diáfisis a través de un *agujero nutricio,* aunque algún hueso, como el fémur, tiene dos o más. Estos vasos traspasan la diáfisis hasta llegar a la cavidad medular. La arteria nutricia se dividirá en ramas ascendentes y descendentes, dirigidas hacia las epífisis. A continuación, vuelven a entrar en el hueso compacto por los conductos perforantes y se extienden siguiendo los conductos centrales para irrigar las osteonas del hueso compacto (**v. figura 5.2b**, p. 114).
2. *Vasos metafisarios:* estos vasos aportan sangre a la superficie interna (diafisaria) de cada cartílago epifisario, la zona donde el hueso está sustituyendo al cartílago.
3. *Vasos epifisarios:* los extremos epifisarios de los huesos largos suelen contener numerosos agujeros más pequeños. Los vasos que se sirven de ellos irrigan el tejido óseo y la cavidad medular de las epífisis.
4. *Vasos periósticos:* los vasos sanguíneos procedentes del periostio se añaden a la superficie del hueso en desarrollo tal como se describió y explicó en la **figura 5.9**. En este caso, suministran sangre a las osteonas superficiales de la diáfisis. Durante la formación endocondral del hueso, entran ramas suyas a las epífisis, lo que abastece de sangre los centros secundarios de osificación. El periostio también contiene una amplia red de vasos linfáticos, muchos de los cuales mandan ramas que atraviesan el hueso y llegan a cada osteona a través de numerosos conductos perforantes.

Tras el cierre de las epífisis, las tres series de vasos sanguíneos quedan ampliamente interconectadas, tal como se señala en la **figura 5.10**.

Inervación del hueso

Los huesos están inervados por nervios sensitivos y las lesiones producidas en el esqueleto pueden resultar muy dolorosas. Las terminaciones nerviosas sensitivas se ramifican por todo el periostio, y los nervios sensitivos traspasan la corteza junto a la arteria nutricia para inervar el endostio, la cavidad medular y las epífisis.

Factores que regulan el crecimiento del hueso

El crecimiento normal del hueso depende de una combinación de factores alimentarios y hormonales:

- No puede producirse un crecimiento normal del hueso sin una fuente constante de sales de calcio y fosfato en la dieta, así como de otros iones como el magnesio, el citrato, el carbonato y el sodio.

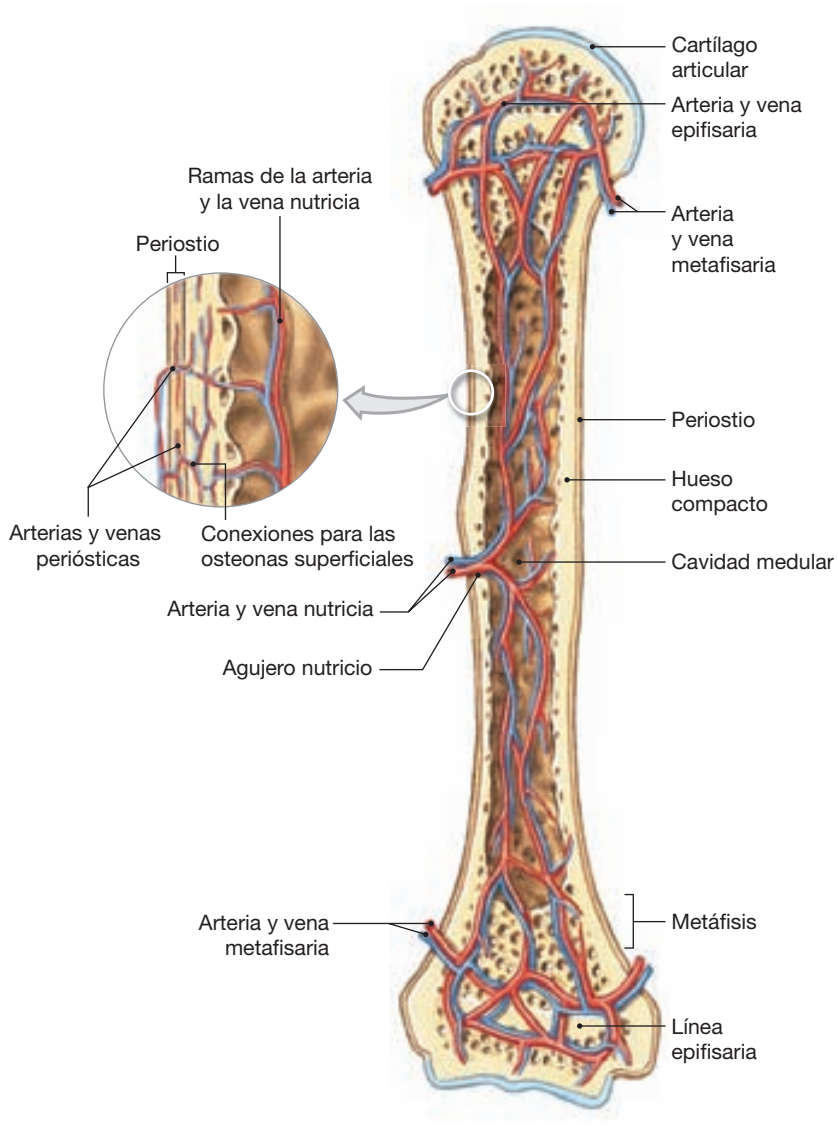


Figura 5.10 Riego circulatorio de un hueso maduro
Disposición y conexiones existentes entre los vasos sanguíneos que irrigan el húmero.

- Las *vitaminas A* y *C* son esenciales para el crecimiento y la remodelación normales del hueso. Estas vitaminas han de extraerse de la alimentación.
- El grupo de esteroides que reciben el nombre conjunto de **vitamina D** están emparentados entre sí y desempeñan una función importante en el metabolismo normal del calcio al estimular la absorción y el transporte de calcio e iones de fosfato hacia la sangre. La forma activa de la vitamina D, o *calcitriol,* se sintetiza en los riñones, pero en definitiva este proceso depende de la disponibilidad de un esteroide relacionado, el *colecalciferol,* que puede absorberse de la alimentación o sintetizarse en la piel en presencia de radiación UV [p. 94].

Las hormonas regulan el patrón de crecimiento al modificar el ritmo que lleven los osteoblastos y los osteoclastos en sus actividades:

- Las glándulas paratiroides liberan **hormona paratiroidea,** que estimula la actividad de los osteoclastos y los osteoblastos, acelera la velocidad de absorción del calcio a lo largo del intestino delgado y frena su pérdida por la orina. Su acción sobre el intestino requiere la presencia de *calcitriol,* otra hormona producida en los riñones [p. 94].
- Los *tirocitos C* (también llamados *células C*) de la glándula tiroides segregan la hormona **calcitonina** en los niños y las embarazadas, que inhibe los osteoclastos y eleva la cantidad de calcio expulsada por la orina. La calcitonina tiene una importancia dudosa entre los adultos sanos no gestantes.
- La *hormona de crecimiento,* producida por la hipófisis, y la **tiroxina,** procedente de la glándula tiroides, estimulan el crecimiento óseo. En su correcto equilibrio, estas hormonas mantienen la actividad normal de los cartílagos epifisarios más o menos hasta la época de la pubertad.
- Al llegar la pubertad, el crecimiento del hueso experimenta una aceleración sensacional. Las **hormonas sexuales** *(estrógenos* y *testosterona)* estimulan a los osteoblastos para que su velocidad de fabricación supere el ritmo de aumento de tamaño del cartílago epifisario. Con el tiempo, estos cartílagos se estrechan y acaban por osificarse o «cerrarse». La producción constante de hormonas sexuales es fundamental para conservar la masa ósea en los adultos.

Existen variaciones de un hueso a otro y de una persona a otra en lo que atañe al momento de cierre de los cartílagos epifisarios. Los dedos de los pies pueden concluir su osificación a los 11 años de edad, mientras que algunas partes de la pelvis o de la muñeca seguirán creciendo hasta cumplir los 25. Las diferencias entre las hormonas sexuales masculinas y femeninas explican la disparidad que presentan los sexos y las variantes relacionadas en cuanto al tamaño y las proporciones del cuerpo.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo pueden utilizarse las radiografías del fémur para determinar si una persona ha alcanzado su estatura final?
2. Describa con brevedad los principales pasos del proceso de osificación intramembranosa.
3. Describa cómo aumenta el diámetro de los huesos.
4. ¿Qué es el cartílago epifisario? ¿Dónde está situado? ¿Por qué es importante?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Remodelación, reparación y mantenimiento óseos

El crecimiento de hueso tiene lugar cuando los osteoblastos generan más matriz ósea que la eliminada por los osteoclastos. La remodelación y reparación ósea puede acarrear cambios en la forma o en la arquitectura interna de los huesos, o también en la cantidad total de minerales depositados en el esqueleto. En el adulto, los osteocitos no dejan de retirar y sustituir permanentemente las sales cálcicas que hay a su alrededor. Pero los osteoblastos y los osteoclastos también permanecen activos a lo largo de toda la vida, y no sólo durante los años de crecimiento. En los adultos jóvenes guardan un equilibrio en su actividad, y el ritmo de formación ósea iguala al de reabsorción. Cuando surge una osteona por acción de los osteoblastos, otra se destruye debido a los osteoclastos. La velocidad del recambio mineral es bastante alta; cada año queda desmantelada casi la quinta parte del esqueleto adulto, para después reconstruirse o reemplazarse. Este proceso no tiene por qué afectar a todos los huesos en todas sus partes, pues existen diferencias regionales y hasta locales en la velocidad de renovación. Por ejemplo, el hueso esponjoso de la cabeza del fémur puede sustituirse dos o tres veces al año, mientras que el hueso compacto de su diáfisis permanece prácticamente intacto. En la vejez sigue este gran ritmo de recambio, pero en los ancianos los osteoblastos pierden actividad a mayor velocidad que los osteoclastos. Por esta razón, la resorción ósea supera su depósito, y el esqueleto se debilita poco a poco cada vez más.

Remodelación del hueso

Aunque el hueso es duro y denso, puede cambiar de forma como respuesta a las condiciones ambientales. La remodelación ósea entraña un proceso de agregación de hueso nuevo más la eliminación del ya formado. Por ejemplo, esto es lo que sucede después de que un ortodoncista procede a realinear los dientes.

Cuando se mueven dentro del alvéolo dental, la forma de este último varía debido a la resorción del hueso antiguo y el depósito de hueso reciente en función de la nueva posición que ocupe el diente. Asimismo, un desarrollo muscular más intenso (como en el caso del entrenamiento con pesas) implicará la remodelación de los huesos para ocuparse de las nuevas cargas ejercidas sobre los lugares de inserción muscular y tendinosa.

Los huesos se adaptan a los esfuerzos modificando el recambio y el reciclado de los minerales. Como mecanismo de control sobre la organización interna del hueso y su estructura, se ha propuesto la sensibilidad de los osteoblastos a los fenómenos eléctricos. Siempre que se presiona un hueso, los cristales minerales generan minúsculos campos eléctricos. Los osteoblastos aparentemente sufren una atracción hacia esos campos eléctricos, y al llegar a la zona, comienzan a producir hueso (los campos eléctricos también pueden utilizarse para estimular la reparación de las fracturas graves).

Como los huesos pueden adaptarse, su forma y los rasgos presentes en su superficie son testimonio de las fuerzas aplicadas sobre ellos. Por ejemplo, las protuberancias y las crestas existentes sobre la superficie de un hueso marcan los lugares que ocupa la inserción de los tendones. Si los músculos ganan potencia, sus correspondientes protuberancias y crestas aumentan para soportar una fuerza mayor. Los huesos sometidos a una gran sobrecarga se vuelven más gruesos y resistentes, mientras que si no reciben su acción de forma habitual, se quedarán delgados y quebradizos. Por tanto, el ejercicio realizado con regularidad es importante como estímulo para conservar la estructura normal del hueso, sobre todo entre los niños en edad de crecer, las mujeres posmenopáusicas y los ancianos.

Después de pasar un período relativamente corto de inactividad, en el esqueleto surgen cambios degenerativos. Por ejemplo, el empleo de una muleta al llevar puesta una escayola descarga peso de la extremidad lesionada. Pasadas unas pocas semanas, los huesos desprovistos de esta presión pierden hasta la tercera parte de su masa. Sin embargo, la recuperan con la misma velocidad al reanudar la carga normal.

Lesión y reparación [v. figura 5.11]

A pesar de su resistencia mineral, el hueso puede fisurarse o hasta romperse si es sometido a una carga extrema, un impacto súbito o un esfuerzo que lleve una dirección desacostumbrada. El daño producido constituye una **fractura.** Su consolidación suele lograrse incluso después de sufrir una lesión grave, siempre que sobreviva el riego sanguíneo y los componentes celulares del endostio y el periostio. En la **figura 5.11** se explican los pasos seguidos en la reparación de una fractura. El resultado final será un hueso algo más grueso y tal vez un poco más fuerte que el tejido primitivo; si se repite una agresión comparable, la segunda fractura en general sucederá en un lugar diferente.

Envejecimiento y sistema óseo [v. figura 5.12]

Los huesos del esqueleto se vuelven más delgados y relativamente más débiles como parte normal del proceso de envejecimiento. Su osificación insuficiente se denomina **osteopenia** (*penia,* carencia), proceso que sufre en cierto grado todo el mundo al envejecer. Esta reducción de la masa ósea sucede entre los 30 y los 40 años. Durante dicho período, la actividad de los osteoblastos empieza a decaer mientras que los osteoclastos se mantienen a los mismos niveles anteriores. Tras su inicio, las mujeres pierden alrededor del 8% de su masa esquelética cada década; el esqueleto de los varones se deteriora a menor

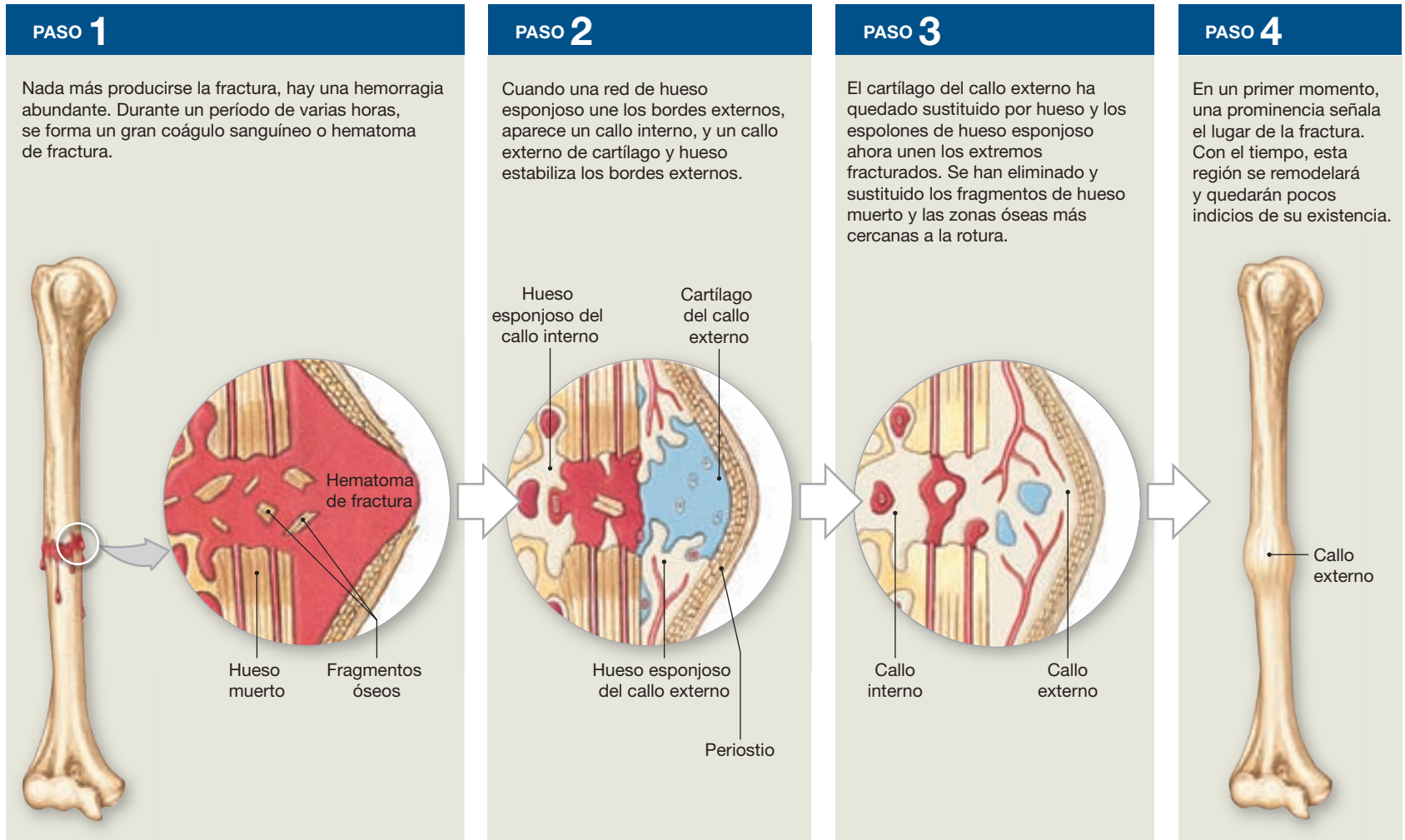

PASO 1
Nada más producirse la fractura, hay una hemorragia abundante. Durante un período de varias horas, se forma un gran coágulo sanguíneo o hematoma de fractura.
Hematoma de fractura
Hueso muerto
Fragmentos óseos
PASO 2
Cuando una red de hueso esponjoso une los bordes externos, aparece un callo interno, y un callo externo de cartílago y hueso estabiliza los bordes externos.
Hueso esponjoso del callo interno
Cartílago del callo externo
Hueso esponjoso del callo externo
Periostio
PASO 3
El cartílago del callo externo ha quedado sustituido por hueso y los espolones de hueso esponjoso ahora unen los extremos fracturados. Se han eliminado y sustituido los fragmentos de hueso muerto y las zonas óseas más cercanas a la rotura.
Callo interno
Callo externo
PASO 4
En un primer momento, una prominencia señala el lugar de la fractura. Con el tiempo, esta región se remodelará y quedarán pocos indicios de su existencia.
Callo externo

Figura 5.11 Reparación de una fractura
Etapas seguidas en la reparación de una fractura.

Nota clínica

Osteoporosis y alteraciones del esqueleto relacionadas con la edad En la **osteoporosis** (*porosus,* poroso), hay un descenso de la masa ósea que basta para poner en peligro el funcionamiento normal. La densidad ósea máxima se alcanza al comenzar la tercera década de la vida y baja con la edad. El consumo insuficiente de calcio en la adolescencia reduce este valor más alto y agrava el peligro de osteoporosis. La distinción entre la osteopenia «normal» del envejecimiento y el cuadro clínico de la osteoporosis es una cuestión de grado.

Los cálculos actuales indican que el 29% de las mujeres con una edad entre 45 y 79 años pueden considerarse osteoporóticas. El aumento de su incidencia después de la menopausia se ha ligado a una disminución en la producción de estrógenos (hormonas sexuales femeninas). En los hombres de la misma edad, la incidencia de la osteoporosis se estima en un 18%.

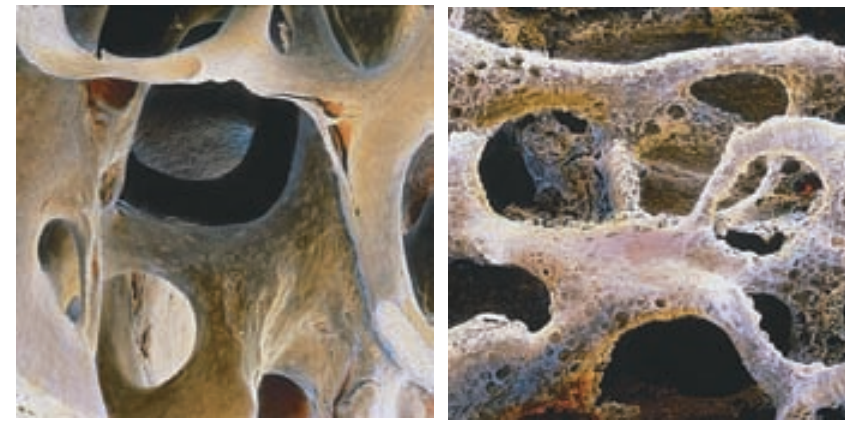
La excesiva fragilidad de los huesos osteoporóticos suele conducir a su rotura, además de estar alterada su consolidación posterior. Las vértebras pueden sufrir un aplastamiento, lo que deforma las articulaciones vertebrales y ejerce presión sobre los nervios espinales. El aporte suplementario de estrógenos, los cambios introducidos en la alimentación para elevar la calcemia, la realización de ejercicio para sobrecargar los huesos y estimular la actividad de los osteoblastos, y la administración de calcitonina en aerosol nasal son medidas que parecen frenar la aparición de la osteoporosis, pero sin evitarla. La inhibición de la actividad osteoclástica con unos fármacos llamados *bisfosfonatos* puede atenuar el peligro de sufrir una fractura de columna o de cadera entre las ancianas y mejorar la densidad ósea. Como opción de uso prolongado, en la actualidad se prefiere el ejercicio, el calcio alimentario y los bisfosfonatos.

La osteoporosis también puede contraerse como efecto secundario de algunos cánceres. Cuando afectan a la médula ósea, la mama y otros tejidos, tienen la capacidad de liberar una sustancia química denominada **factor activador de los osteoclastos.** Este compuesto eleva el número y la actividad de los osteoclastos, por lo que puede originar una osteoporosis grave.

Las enfermedades infecciosas que atacan al sistema óseo también empiezan a ser más frecuentes con el envejecimiento. Este hecho en parte manifiesta la mayor incidencia de fracturas, sumado a la lentitud de su consolidación y el descenso de las defensas inmunitarias.

La **osteomielitis** (*myelos,* médula) es una infección dolorosa y destructiva del hueso ocasionada habitualmente por bacterias. Este proceso, más frecuente en las personas mayores de 50 años, puede originar una peligrosa infección sistémica. La herencia y los factores ambientales, como la posible presencia de una infección vírica, parecen responsables de la **enfermedad de Paget,** también llamada **osteítis deformante.** Este trastorno puede afectar hasta al 10% de la población mayor de 70 años. La aceleración localizada de la actividad osteoclástica genera zonas de osteoporosis aguda, y los osteoblastos producen unas proteínas de la matriz anormales. El resultado es la deformación gradual del esqueleto. El tratamiento con bisfosfonatos puede aminorar la evolución de la enfermedad, igual que en la osteoporosis, al disminuir la actividad de los osteoclastos.

velocidad, más o menos en un 3%. Además, no todas sus partes se ven afectadas por igual. Las epífisis, las vértebras y los maxilares pierden más de lo que les correspondería, lo que da lugar a unas extremidades frágiles, un descenso de la talla y la caída de los dientes. Una proporción apreciable de las mujeres ancianas y un porcentaje más pequeño de los varones sufren **osteoporosis** (*porosus,* poroso). Esta situación se caracteriza por una reducción de la masa ósea y unos cambios microestructurales que ponen en peligro el funcionamiento en unas condiciones normales y acentúan la propensión a las fracturas (**v. figura 5.12**).



(a) Hueso esponjoso normal **(b) Hueso esponjoso en la osteoporosis**

Figura 5.12 Efectos de la osteoporosis
(a) Hueso esponjoso normal de la epífisis de un joven (MEB × 25). **(b)** Hueso esponjoso de una persona con osteoporosis (MEB × 21).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Piensa que vería alguna diferencia en los huesos de un deportista comparando la situación antes y después de someterse a un entrenamiento exhaustivo para aumentar la masa muscular? ¿Por qué sí o por qué no?
2. ¿Qué vitaminas y hormonas regulan el crecimiento del hueso?
3. ¿Cuál es la principal diferencia que esperaríamos encontrar al comparar el crecimiento del hueso a los 15 y a los 30 años de edad?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Anatomía de los elementos del esqueleto

El esqueleto humano contiene 206 huesos importantes que podemos dividir en seis grandes categorías, según su forma específica.

Clasificación de los huesos [v. figuras 5.3/5.13]

Consulte la **figura 5.13** durante la descripción sobre la clasificación anatómica de los huesos.

1. Los *huesos largos* son relativamente largos y delgados (**v. figura 5.13a**). Están formados por una diáfisis, dos metáfisis, dos epífisis y una cavidad medular (médula), tal como se detalla en la **figura 5.3**, p. 115. Se encuentran presentes en las extremidades superiores e inferiores. Entre sus ejemplos figuran el *húmero,* el *radio,* el *cúbito,* el *fémur,* la *tibia* y el *peroné.*
2. Los *huesos planos* tienen unas superficies delgadas de hueso compacto más o menos paralelas entre sí. Por su estructura, un hueso plano parece un bocadillo de hueso esponjoso; se trata de unos huesos fuertes pero relativamente ligeros. Los huesos planos forman el techo del cráneo (**v. figura 5.13b**), el esternón, las costillas y las escápulas. Sirven para proteger los tejidos blandos subyacentes y ofrecen una amplia superficie para la inserción de los músculos estriados. En la descripción de los huesos planos del cráneo, como los parietales, se recurre a unos términos especiales. Las capas relativamente gruesas de hueso compacto se denominan *tablas interna* y *externa,* y la capa de hueso esponjoso que queda entre ellas es el **díploe.** Los *huesos wormianos (suturales)* son de pequeño tamaño, también planos, tienen una forma extraña y están presentes entre los huesos planos del cráneo en las líneas de sutura. Nacen a partir de centros de osificación independientes y se consideran un tipo más de hueso plano.

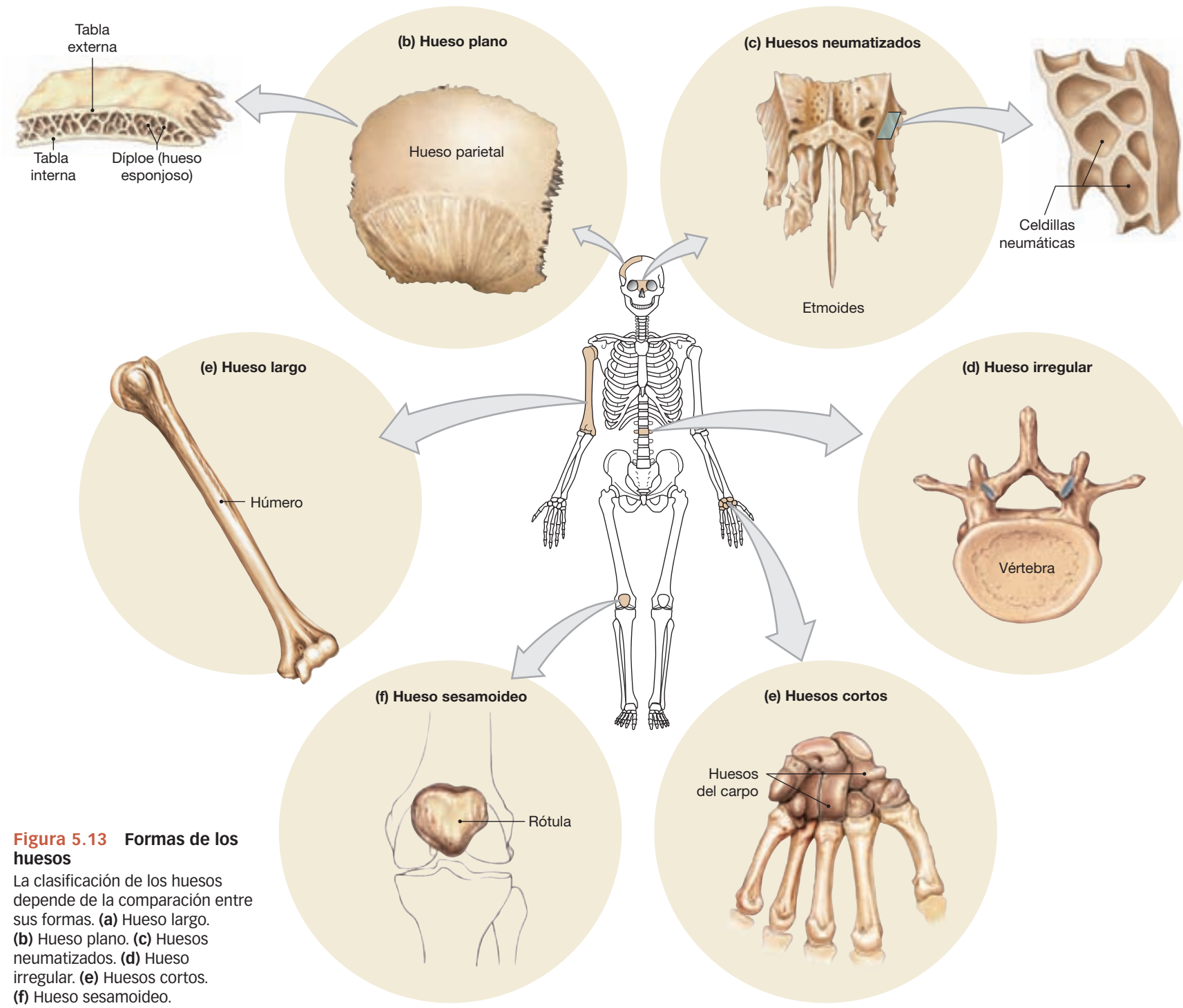


Figura 5.13 Formas de los huesos
La clasificación de los huesos depende de la comparación entre sus formas. **(a)** Hueso largo. **(b)** Hueso plano. **(c)** Huesos neumatizados. **(d)** Hueso irregular. **(e)** Huesos cortos. **(f)** Hueso sesamoideo.

3. Los *huesos neumatizados* son huecos o contienen numerosas bolsas de aire, como en el caso del etmoides (**v. figura 5.13c**).
4. Los *huesos irregulares* presentan formas complejas con unas superficies pequeñas, planas y surcadas por escotaduras o crestas (**v. figura 5.13d**). Su estructura interna es igual de variada. Las vértebras que constituyen la columna vertebral y varios huesos de la calavera son ejemplos de huesos irregulares.
5. Los *huesos cortos* poseen el aspecto de una caja (**v. figura 5.13e**). Sus superficies externas están cubiertas por hueso compacto, pero el interior contiene hueso esponjoso. Como ejemplos pueden citarse los *huesos del carpo* (muñeca) y los *huesos del tarso* (tobillo).
6. Los *huesos sesamoideos* suelen ser pequeños, redondos y planos (**v. figura 5.13f**). Surgen en el interior de los tendones y aparecen más a menudo cerca de las articulaciones en la rodilla, las manos y los pies. Pocas personas tienen huesos sesamoideos en todos sus posibles lugares, pero la *rótula* nunca falta.

Marcas óseas (rasgos de superficie)

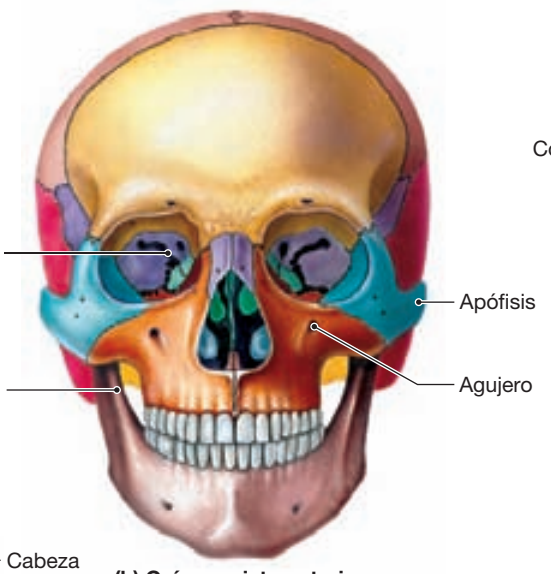
[v. figura 5.14 y tabla 5.1]

Cada hueso del cuerpo tiene una forma particular y unos rasgos externos e internos característicos. Las elevaciones o los salientes se forman en la zona de inserción para los tendones y los ligamentos, y en las articulaciones entre los huesos adyacentes. Las depresiones, los surcos y los túneles indican los lugares del hueso que están junto a los vasos sanguíneos y los nervios, o por donde penetran en su interior. El examen detallado de estas **marcas óseas,** o *rasgos de superficie,* puede arrojar abundante información anatómica. Por ejemplo, muchas veces los antropólogos forenses son capaces de determinar la edad, las dimensiones, el sexo y el aspecto general de un individuo a partir de los restos incompletos de su esqueleto (este tema se tratará más detalladamente en el capítulo 6). En la tabla 5.1 se recoge el vocabulario que designa las diversas marcas óseas y en la **figura 5.14** aparecen representadas.

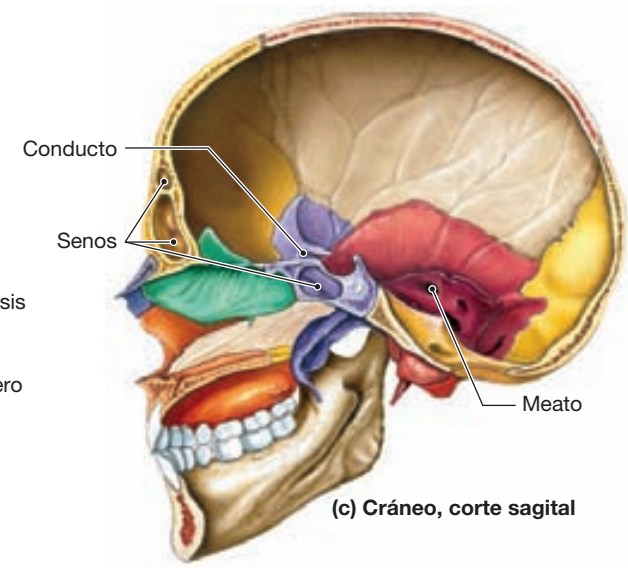
TABLA 5.1 Terminología habitual de las marcas óseas

Descripción general	Término anatómico	Definición y ejemplo *(v. figura 5.14)*
Elevaciones y salientes (generales)	Apófisis	Cualquier saliente o protuberancia (b)
	Rama	Prolongación de un hueso que forma un ángulo con el resto de su estructura (b, e)
Eminencias formadas en la inserción de los tendones o los ligamentos	Trocánter	Protuberancia grande y rugosa (a)
	Tuberosidad	Protuberancia rugosa (a)
	Tubérculo	Protuberancia pequeña y redondeada (a, d)
	Cresta	Elevación larga sobresaliente (e)
	Línea	Cresta baja (e)
	Espina	Eminencia puntiaguda (e)
Eminencias formadas por una articulación con los huesos adyacentes	Cabeza	Extremo articular ensanchado de una epífisis, muchas veces separado de la diáfisis por un cuello más estrecho (a, d)
	Cuello	Conexión más estrecha entre la epífisis y la diáfisis (a, d)
	Cóndilo	Eminencia articular lisa y redondeada (a, d)
	Tróclea	Eminencia articular lisa acanalada de forma semejante a una polea (d)
	Carilla	Superficie articular pequeña y plana (a)
Depresiones	Fosa	Depresión poco profunda (d, e)
	Surco	Estría estrecha (d)
Orificios	Agujero	Vía de conducción redondeada para los vasos sanguíneos y/o los nervios (b, e)
	Fisura	Hendidura alargada (b)
	Meato o conducto	Vía de conducción a través del cemento de un hueso (c)
	Seno o antro	Cavidad en el interior de un hueso, normalmente llena de aire (c)

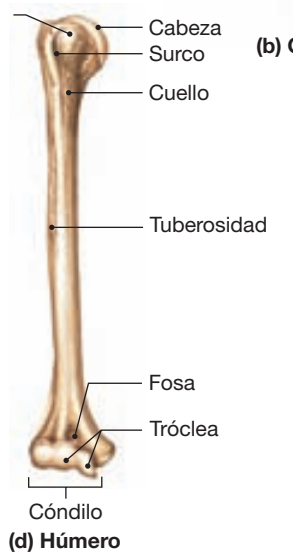
(a) Fémur



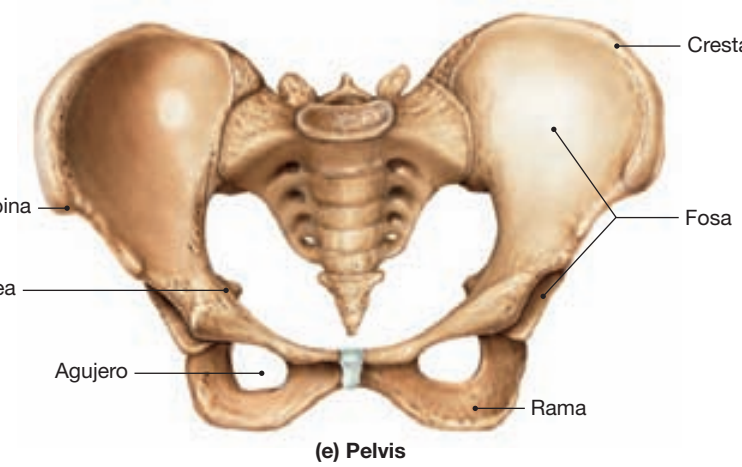
(b) Cráneo, vista anterior



(c) Cráneo, corte sagital



(d) Húmero



(e) Pelvis

Figura 5.14 Ejemplos de marcas óseas (rasgos de superficie)
Las marcas óseas aportan unas referencias inconfundibles y características para la orientación e identificación de los huesos y de sus estructuras asociadas.

Nota clínica

Clasificación de las fracturas Las fracturas se clasifican en función de su aspecto externo, del lugar donde se produzcan y de la naturaleza que tenga la fisura o la rotura del hueso. Aquí se describen los tipos más importantes, con sus radiografías representativas. Muchas de ellas pertenecen a más de una categoría. Por ejemplo, una fractura de Colles es una fractura transversal, pero según la lesión, también puede ser conminuta, y a su vez abierta o cerrada. Las **fracturas cerradas,** o *simples,* son totalmente internas; no suponen ninguna apertura en la piel. En cambio, las **fracturas abiertas,** o *compuestas,* salen por la piel; son más peligrosas por el riesgo de infección o de hemorragia incontrolada.

Una **fractura de Pott** está situada en el tobillo, y afecta a la tibia y al peroné.

Las **fracturas conminutas,** como esta del fémur, causan una destrucción de la zona alterada en multitud de fragmentos óseos.

Las **fracturas transversales,** como esta del cúbito, rompen un hueso a través de su eje longitudinal.

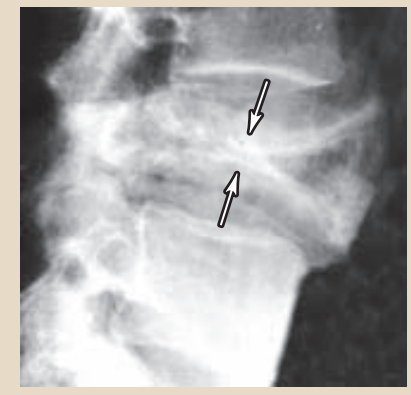
Las **fracturas espiroideas,** como esta de la tibia, se producen por la transmisión de fuerzas de torsión a lo largo de la longitud del hueso.

Las **fracturas desplazadas,** como esta del cúbito, generan una disposición nueva y anormal en el hueso; las **fracturas sin desplazamiento** conservan la alineación normal de los huesos o de sus fragmentos.

Una **fractura de Colles,** la rotura de la porción distal del radio, es el resultado clásico de extender la mano para amortiguar una caída.

En una **fractura en tallo verde,** como esta del radio, no se rompe más que un lado del cuerpo, y el otro se dobla. En general, es un tipo que sucede en los niños, cuyos huesos largos aún no están osificados del todo.

Las **fracturas epifisarias,** como esta del fémur, tienden a suceder en las zonas de matriz ósea sometidas a un proceso de calcificación, donde mueren los condrocitos. En general, las fracturas transversales limpias a lo largo de esta línea consolidan bien. Si no se la trata con atención, una fractura entre la epífisis y el cartílago epifisario puede detener permanentemente el crecimiento en este punto.



Las **fracturas por compresión** aparecen en las vértebras sometidas a presiones extremas, como ocurre al caer sobre las nalgas al sufrir una caída. Son más frecuentes cuando los huesos están debilitados por la osteoporosis.

Nuestra explicación girará sobre aquellos rasgos más destacados que resultan útiles para identificar un hueso. Estas marcas también sirven porque proporcionan una referencia fija que puede contribuir a determinar la posición ocupada por los componentes correspondientes a los tejidos blandos de otros sistemas. Para describir las diversas elevaciones y depresiones, se emplean términos anatómicos específicos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué es importante contar con un conocimiento operativo de las marcas óseas en los contextos clínicos?
2. ¿Cuál es la diferencia primordial entre los huesos sesamoideos y los irregulares?
3. En un esqueleto, ¿dónde buscaría los huesos wormianos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Integración con otros sistemas

Aunque los huesos parezcan un elemento inerte, es el momento de percatarse de que son unas estructuras bastante dinámicas. Todo el sistema óseo se encuentra íntimamente asociado a otros sistemas. Los huesos están unidos al sistema muscular, que a su vez está profundamente conectado con el aparato cardiovascular y el sistema linfático, y sometido en gran parte al control fisiológico del sistema endocrino. Asimismo, los aparatos digestivo y excretor desempeñan una función importante porque aportan los minerales calcio y fosfato necesarios para el crecimiento óseo. A cambio, el esqueleto representa una reserva de calcio, fosfato y otros minerales, capaz de compensar los cambios ocurridos en la ingestión de estos iones con la alimentación.

TÉRMINOS CLÍNICOS

acondroplasia: Trastorno resultante de una actividad anormal de los cartílagos epifisarios; su crecimiento se produce con una lentitud inusitada, y la persona presenta unas extremidades cortas y fornidas. El tronco es de tamaño normal, y el desarrollo sexual y psíquico queda intacto.

acromegalia: Trastorno ocasionado por la secreción excesiva de hormona de crecimiento pasada la pubertad y tras el cierre de los cartílagos epifisarios. Con ello surgen alteraciones óseas que afectan a los cartílagos y a varios huesos pequeños, particularmente de la cara, las manos y los pies.

callo externo: Capa endurecida de tejido conjuntivo que envuelve y estabiliza un hueso en el punto de fractura.

callo interno: Puente de hueso trabecular que une los extremos rotos de un hueso por el lado medular de la fractura.

enfermedad de Paget (osteítis deformante): Proceso caracterizado por una deformación gradual del esqueleto.

factor activador de los osteoclastos: Compuesto liberado por los cánceres de médula ósea, mama y otros tejidos. Causa una osteoporosis grave.

fallo hipofisario del crecimiento: Tipo de enanismo provocado por una producción insuficiente de hormona de crecimiento.

fractura: Fisura o rotura de un hueso.

gigantismo: Proceso resultante de la hiperproducción de hormona de crecimiento antes de la pubertad.

hematoma de fractura: Gran coágulo sanguíneo que cierra los vasos lesionados y deja una malla fibrosa en la zona dañada.

hiperostosis: Formación excesiva de tejido óseo.

osteogenia imperfecta: Proceso hereditario que afecta a la organización de las fibras colágenas. El funcionamiento de los osteoblastos está alterado, el crecimiento es anormal y los huesos son muy frágiles, lo que da lugar a una deformación progresiva del esqueleto y al padecimiento de fracturas repetidas.

osteomalacia: Reblandecimiento del hueso debido a una disminución de su contenido mineral.

osteomielitis: Infección dolorosa de un hueso, normalmente causada por una bacteria.

osteopenia: Reducción de la masa y la densidad ósea.

osteopetrosis: Proceso ocasionado por un descenso en la actividad de los osteoclastos, que genera un aumento de la masa ósea y diversas deformidades en el esqueleto.

osteoporosis: Enfermedad caracterizada por un deterioro en la organización histológica del tejido óseo, que conduce a la pérdida de masa ósea hasta llegar a un grado que pone en peligro el funcionamiento normal.

raquitismo: Trastorno que reduce la cantidad de sales cálcicas en el esqueleto; a menudo presenta unas «piernas arqueadas» como rasgo propio de su aspecto.

síndrome de Marfan: Proceso hereditario ligado a la producción deficiente de una glucoproteína del tejido conjuntivo. Los signos físicos más evidentes de este trastorno son una talla enorme y unas extremidades largas y delgadas.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 112

1. El sistema óseo reúne los huesos del esqueleto más los cartílagos, ligamentos y otros tejidos conjuntivos que sirven para estabilizarlos o interconectarlos. Sus funciones consisten en el soporte estructural, el almacenamiento de minerales y lípidos, la producción de células sanguíneas, la protección de los tejidos y órganos delicados, y el apalancamiento.

Estructura del hueso 112

1. El **tejido óseo (hueso)** es un tejido conjuntivo de sostén con células especializadas y una **matriz** extracelular sólida de fibras proteínicas y sustancia fundamental.

Organización histológica del hueso maduro 112

2. La matriz ósea consta básicamente de cristales de **hidroxiapatita,** a los que corresponden casi dos terceras partes del peso del hueso. En el tercio restante predominan las fibras colágenas y pequeñas cantidades de otras sales cálcicas; los osteocitos y los demás tipos celulares no aportan más que alrededor del 2% del volumen de tejido óseo.
3. Los **osteocitos** son las células óseas maduras que están totalmente rodeadas por una matriz ósea dura, y residen en unos espacios llamados **lagunas.** En este lugar, se encuentran interconectados por pequeños canales huecos denominados **conductillos.** Las **laminillas** son capas de matriz calcificada *(v. figura 5.1)*.
4. Los **osteoblastos** son células inmaduras encargadas de formar hueso. Mediante el proceso de la **osteogenia**, sintetizan **osteoide,** la matriz del hueso antes de su calcificación *(v. figura 5.1)*.

5. Las **células osteoprogenitoras** son células mesenquimatosas que cumplen un cometido en la reparación de las fracturas óseas *(v. figura 5.1)*.
6. Los **osteoclastos** son unas células grandes multinucleadas que sirven para disolver la matriz ósea por el proceso de la **osteólisis.** Resultan importantes en la regulación de las concentraciones de calcio y de fosfato que hay en los líquidos corporales *(v. figura 5.1)*.

Hueso compacto y esponjoso 113

7. Hay dos tipos de hueso: hueso **compacto,** o *denso,* y hueso **esponjoso,** o *trabecular.* La composición de la matriz en el hueso compacto es la misma que en el esponjoso, pero difieren en la disposición tridimensional de los osteocitos, los conductillos y las laminillas *(v. figuras 5.1/5.2)*.
8. La unidad funcional básica del hueso compacto es la **osteona,** o *sistema de Havers.* Los osteocitos de una osteona están dispuestos en capas concéntricas alrededor de un **conducto central** *(v. figuras 5.1b-d/5.2)*.
9. El hueso esponjoso contiene espolones o láminas que se denominan **trabéculas,** a menudo en una red espaciosa *(v. figura 5.2)*.
10. El hueso compacto cubre las superficies óseas. Es más grueso si las cargas proceden de una gama limitada de direcciones. El hueso esponjoso ocupa una zona interna en los huesos. Está presente en zonas donde las cargas sean escasas o procedan de múltiples direcciones diferentes *(v. figura 5.3)*.

Periostio y endostio 116

11. En su parte exterior, un hueso está recubierto por un **periostio** de dos capas (fibrosa externa, celular interna) y revestido en su interior por un **endostio** celular *(v. figura 5.4)*.

Desarrollo y crecimiento del hueso 117

1. La **osificación** es el proceso de sustitución de otros tejidos por hueso; la **calcificación** es el proceso de depósito de sales cálcicas en el interior de un tejido.

Osificación intramembranosa 117

2. La **osificación intramembranosa,** también llamada **osificación dérmica,** comienza con la diferenciación en osteoblastos de un tejido conjuntivo fibroso o mesenquimatoso. Este proceso puede producir a la larga hueso esponjoso o compacto. Dicho mecanismo empieza en un **centro de osificación** *(v. figuras 5.5/5.6)*.

Osificación endocondral 118

3. La **osificación endocondral** comienza con la formación de un modelo cartilaginoso. Este modelo de cartílago hialino queda sustituido poco a poco por tejido óseo *(v. figuras 5.6/5.7)*.
4. Un hueso en desarrollo crece en longitud por el **cartílago epifisario,** que separa la epífisis de la diáfisis. En este punto se añade nuevo cartílago por el lado epifisario, mientras el tejido óseo sustituye al cartílago más antiguo por el lado diafisario. El momento de cierre del cartílago epifisario varía entre los huesos y entre las personas *(v. figura 5.8)*.
5. El diámetro de un hueso aumenta mediante un crecimiento por aposición sobre su cara externa *(v. figura 5.9)*.

Formación del riego sanguíneo y linfático 123

6. Un hueso típico formado por osificación endocondral posee cuatro grupos fundamentales de vasos: los *vasos nutricios,* los *vasos metafisarios,* los *vasos epifisarios* y los *vasos perióstico*s. Los vasos linfáticos se distribuyen por el periostio y penetran en las osteonas a través de los conductos nutricios y perforantes *(v. figuras 5.7/5.10)*.

Inervación del hueso 123

7. Las terminaciones nerviosas sensitivas se ramifican por todo el periostio y los nervios sensitivos traspasan la corteza junto a la arteria nutricia para inervar el endostio, la cavidad medular y las epífisis.

Factores que regulan el crecimiento del hueso 123

8. La osteogenia normal requiere una fuente constante y fiable de minerales, vitaminas y hormonas.
9. La **hormona paratiroidea,** segregada por las glándulas paratiroides, estimula la actividad de los osteoclastos y los osteoblastos. Por el contrario, la **calcitonina,** segregada por las *células C* de la glándula tiroides, inhibe la actividad osteoclástica y aumenta la salida de calcio por la orina. Estas hormonas controlan la velocidad del depósito mineral en el esqueleto y regulan las concentraciones iónicas de calcio en los líquidos corporales.
10. La **hormona de crecimiento,** la **tiroxina** y las **hormonas sexuales** estimulan el crecimiento óseo al aumentar la actividad de los osteoblastos.
11. Existen variaciones entre los huesos y entre las personas en lo que atañe al momento de cierre de los cartílagos epifisarios.

Remodelación, reparación y mantenimiento óseos 124

1. La velocidad del recambio en el hueso es bastante alta. Cada año queda desmantelada casi la quinta parte del esqueleto adulto para después reconstruirse o reemplazarse.

Remodelación del hueso 124

2. La remodelación ósea entraña un proceso simultáneo de agregación de hueso nuevo más la eliminación del ya formado.
3. El recambio y reciclado mineral permiten al hueso adaptarse a los nuevos esfuerzos.
4. El calcio es el mineral más común del cuerpo humano, y más del 98% está situado en el esqueleto.

Lesión y reparación 125

5. Una **fractura** es una fisura o una rotura en un hueso. Su consolidación suele lograrse si parte del riego sanguíneo, el endostio y el periostio permanecen intactos *(v. figura 5.11)*. Para consultar una clasificación sobre los tipos de fracturas, véase «Nota clínica» en p. 129.

Envejecimiento y sistema óseo 125

6. Los huesos del esqueleto se vuelven más delgados y relativamente más débiles como parte normal del proceso de envejecimiento. Así, suele producirse un cierto grado de **osteopenia,** pero en algunos casos este proceso avanza hasta la **osteoporosis** y los huesos quedan peligrosamente frágiles y quebradizos *(v. figura 5.12)*.

Anatomía de los elementos del esqueleto 126

Clasificación de los huesos 126

1. Las categorías existentes de los huesos están basadas en su clasificación anatómica; son las siguientes: *huesos largos, huesos planos, huesos neumatizados, huesos irregulares, huesos cortos* y *huesos sesamoideos (v. figura 5.13)*.

Marcas óseas (rasgos de superficie) 127

2. Las **marcas óseas** (o *rasgos de superficie*) pueden utilizarse para identificar las elevaciones, depresiones y orificios específicos de los huesos. El vocabulario más habitual sobre las marcas óseas se ofrece en la *tabla 5.1 (v. figura 5.14)*.

Integración con otros sistemas 130

1. El sistema óseo está ligado anatómica y fisiológicamente a los demás sistemas corporales y representa un reservorio de calcio, fosfato y otros minerales.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. ¿Qué tipo de célula es capaz de dividirse para producir nuevos osteoblastos?
   (a) osteocito (b) osteoprogenitor
   (c) osteoblasto (d) osteoclasto

2. El hueso esponjoso está formado de:
   (a) osteonas
   (b) espolones y láminas
   (c) laminillas concéntricas
   (d) únicamente espículas

3. La unidad funcional básica del hueso compacto maduro es:
   (a) la osteona
   (b) el conductillo
   (c) la laminilla
   (d) el conducto central

4. La osificación endocondral comienza con la formación de:
   (a) un modelo de tejido conjuntivo fibroso
   (b) un modelo de cartílago hialino
   (c) un modelo membranoso
   (d) un modelo calcificado

5. Cuando aumenta la producción de hormonas sexuales, la de hueso:
   (a) se ralentiza
   (b) se acelera con rapidez
   (c) aumenta lentamente
   (d) no cambia

6. La presencia de una línea epifisaria indica que:
   (a) el crecimiento epifisario ha finalizado
   (b) el crecimiento epifisario acaba de empezar
   (c) el crecimiento del diámetro óseo acaba de empezar
   (d) el hueso está fracturado en ese punto

7. La osificación insuficiente que aparece con el envejecimiento se denomina:
   (a) osteopenia (b) osteomielitis
   (c) osteítis (d) osteoporosis

8. El proceso por el que crece el diámetro de un hueso en desarrollo es el:
   (a) crecimiento por aposición sobre su superficie externa
   (b) crecimiento intersticial dentro de la matriz
   (c) crecimiento laminar
   (d) crecimiento de Havers

9. El esternón constituye un ejemplo de:
   (a) hueso plano (b) hueso largo
   (c) hueso irregular (d) hueso sesamoideo

10. Las protuberancias pequeñas y rugosas de un hueso se denominan:
    (a) rama (b) tuberosidad
    (c) trocánter (d) espina

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Cómo repercutiría sobre las características físicas de un hueso el descenso en la proporción de moléculas orgánicas que contenga la matriz ósea frente a los componentes inorgánicos?
   (a) el hueso sería menos flexible
   (b) el hueso sería más resistente
   (c) el hueso sería más quebradizo
   (d) el hueso sería más flexible

2. El cierre prematuro de los cartílagos epifisarios podría estar ocasionado por:
   (a) unas concentraciones elevadas de hormonas sexuales
   (b) unas concentraciones altas de vitamina D
   (c) una hormona paratiroidea demasiado baja
   (d) un exceso de hormona de crecimiento

3. ¿Qué factores determinan el tipo de osificación que sucede en un hueso determinado?

4. ¿Qué fenómenos señalan el final del crecimiento en longitud de los huesos largos?

5. ¿Cuáles son las ventajas del hueso esponjoso sobre el compacto en zonas como los extremos ensanchados de los huesos largos?

6. ¿Cómo crece en diámetro un hueso?

7. ¿Por qué hay menos probabilidades de que se fracturen las zonas consolidadas de un hueso otra vez por el mismo punto ante la acción de una sobrecarga similar?

8. ¿Por qué una alimentación constituida primordialmente por comida basura entorpece la consolidación de un hueso fracturado?

9. ¿Qué propiedades se emplean para distinguir un hueso sesamoideo de un hueso wormiano?

10. Compare los procesos de osificación y calcificación.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Un niño pequeño se cae de la bicicleta y se rompe el brazo. El hueso se reduce correctamente y consolida bien. Después de retirar la escayola, en la región de la fractura sigue habiendo una protuberancia ósea de mayor tamaño. Pasados varios meses, esta prominencia desaparece y el brazo adquiere un aspecto prácticamente normal. ¿Qué ocurrió durante el proceso de curación?

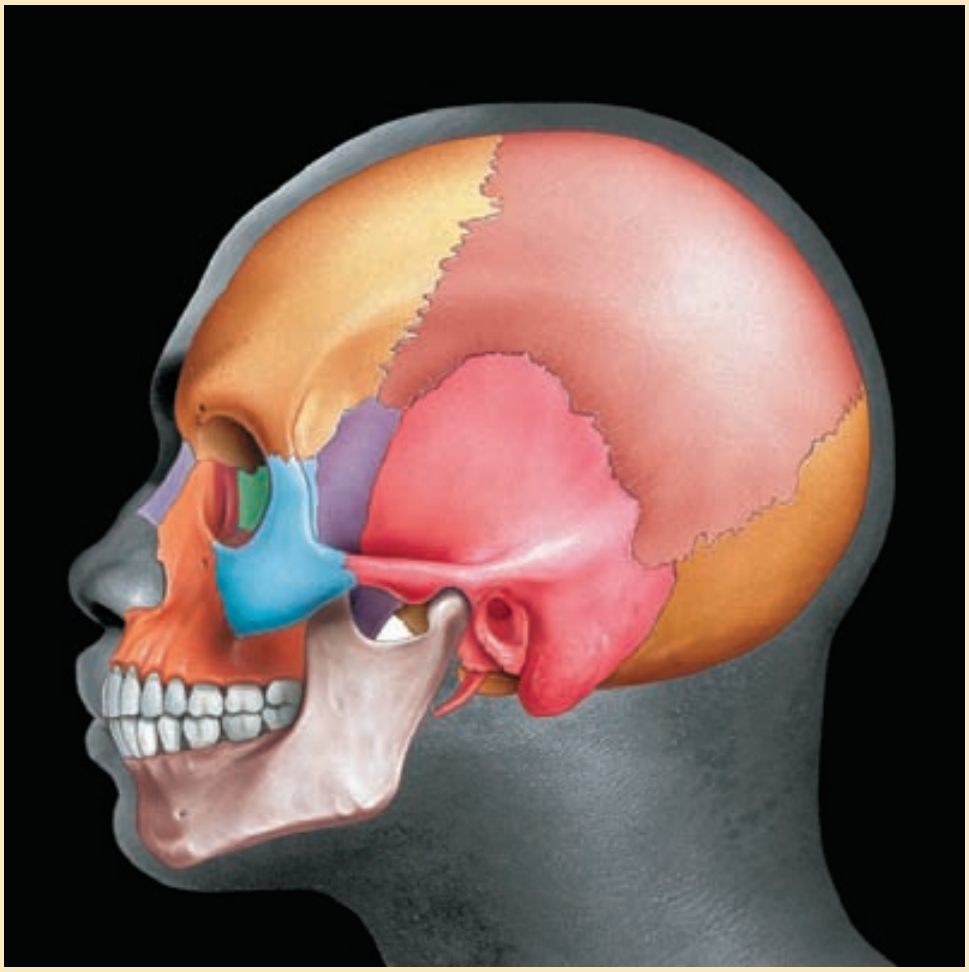
2. La mayor parte de los niños pequeños que se rompen un hueso en la extremidad superior o inferior sufren una fractura en tallo verde. Este tipo de fractura es bastante rara en el adulto. ¿Cuál es la razón de esta diferencia?

3. Cuando una persona envejece, los huesos se rompen con mayor facilidad, muchas veces a raíz de movimientos bastante normales, como dar un giro o levantarse bruscamente de la silla. ¿Por qué son tan frecuentes estos tipos de fractura en los ancianos? ¿La actividad de qué tipo(s) de células óseas está implicada en este hecho? ¿Cómo podrían mejorarse estas situaciones?

6

Sistema óseo

Cabeza y tronco



Introducción 134

Cráneo y otros huesos asociados 135

Cráneo de los recién nacidos, los niños y los adultos 158

Columna vertebral 158

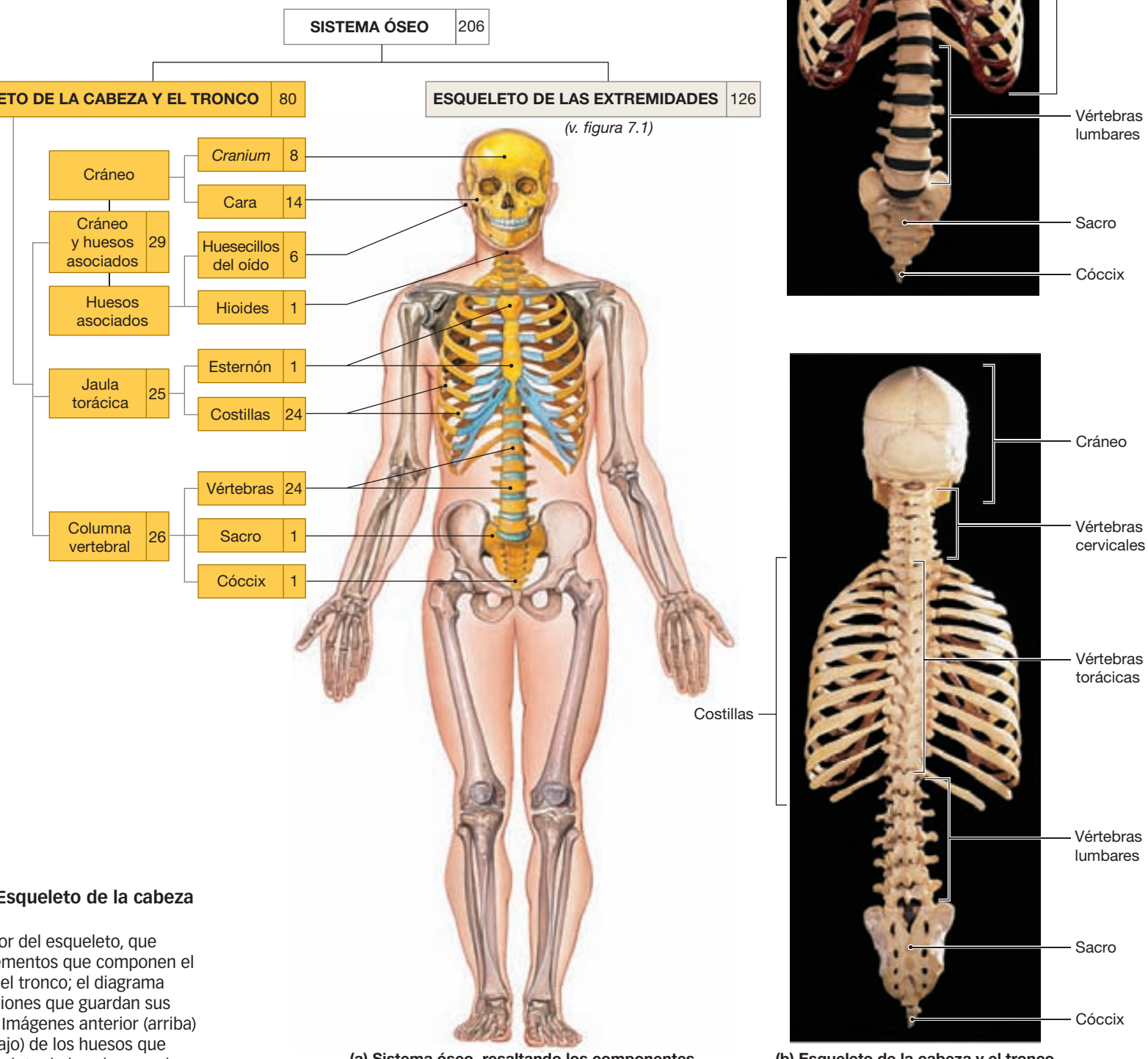
Jaula torácica 168

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Identificar los huesos del esqueleto de la cabeza y el tronco y sus funciones.
2. Señalar los huesos del cráneo y explicar la importancia de los detalles existentes en cada uno.
3. Localizar y explorar las principales suturas craneales.
4. Estudiar la estructura del macizo nasal y las funciones que cumple cada uno de sus elementos.
5. Describir los huesos asociados al cráneo y comentar sus funciones.
6. Distinguir las diferencias estructurales entre el cráneo de los recién nacidos, los niños y los adultos.
7. Explorar la estructura general de la columna vertebral.
8. Enunciar y describir las diversas curvaturas de la columna y sus funciones.
9. Identificar y detallar las partes de una vértebra representativa.
10. Determinar los grupos vertebrales y analizar las diferencias existentes entre ellos, en sentido estructural y funcional.
11. Describir las características y los pormenores de una costilla representativa, y ser capaz de diferenciar las costillas verdaderas de las falsas.
12. Explicar la importancia de las articulaciones entre las vértebras torácicas, las costillas y el esternón.

Las características básicas del esqueleto humano se han ido configurando con la evolución, pero como no hay dos personas que tengan exactamente la misma combinación de edad, alimentación, patrón de actividad y concentraciones hormonales, los huesos de cada individuo son irrepetibles. Tal como se expuso en el capítulo 5, su estructura está sometida a una permanente remodelación y reestructuración y el esqueleto cambia a lo largo de toda la vida. Dos ejemplos son las variaciones en las proporciones que suceden durante la pubertad y la osteoporosis gradual que acompaña al envejecimiento. Este capítulo aporta otras muestras sobre la naturaleza dinámica del esqueleto humano, como las modificaciones que tienen lugar en la forma de la columna vertebral como consecuencia de la transición desde gatear hasta caminar.

El sistema óseo está dividido en dos partes: *la cabeza y el tronco* y *las extremidades;* los elementos que forman la cabeza y el tronco aparecen en amarillo y azul en la **figura 6.1**. El sistema óseo suma 206 huesos independientes y una serie de cartílagos asociados. El **esqueleto de la cabeza y el tronco** está consti-



(a) Sistema óseo, resaltando los componentes de la cabeza y el tronco

(b) Esqueleto de la cabeza y el tronco

Figura 6.1 Esqueleto de la cabeza y el tronco

(a) Vista anterior del esqueleto, que destaca los elementos que componen el de la cabeza y el tronco; el diagrama indica las relaciones que guardan sus elementos. **(b)** Imágenes anterior (arriba) y posterior (abajo) de los huesos que forman el esqueleto de la cabeza y el tronco.

tuido por los huesos del cráneo, el tórax y la columna vertebral. Estos elementos configuran el eje longitudinal del cuerpo. En total contiene 80 huesos, más o menos el 40% de los que integran el cuerpo humano. Sus partes son:

- El **cráneo** (22 huesos).
- Los huesos asociados al cráneo (los seis huesecillos del oído y el hioides).
- La **columna vertebral** (24 vértebras, el sacro y el cóccix).
- La **jaula torácica** (24 costillas y el esternón).

El esqueleto de la cabeza y el tronco actúa como un armazón que mantiene y protege a los órganos contenidos en las cavidades corporales ventrales. También alberga los órganos de los sentidos especiales dedicados al gusto, el olfato, el oído, el equilibrio y la vista. Además, proporciona una amplia superficie para la inserción de músculos que cumplen las siguientes funciones: 1) regulan la posición de la cabeza, el cuello y el tronco; 2) ejecutan los movimientos respiratorios, y 3) estabilizan las estructuras pertenecientes al esqueleto de las extremidades o las colocan en posición. Las articulaciones del esqueleto de la cabeza y el tronco permiten pocos movimientos, pero son muy fuertes y a menudo tienen sólidos refuerzos mediante ligamentos. Por último, algunos de sus elementos, como ciertas porciones de las vértebras, el esternón y las costillas, contienen médula roja para la hematopoyesis, lo mismo que muchos huesos largos que forman el esqueleto de las extremidades.

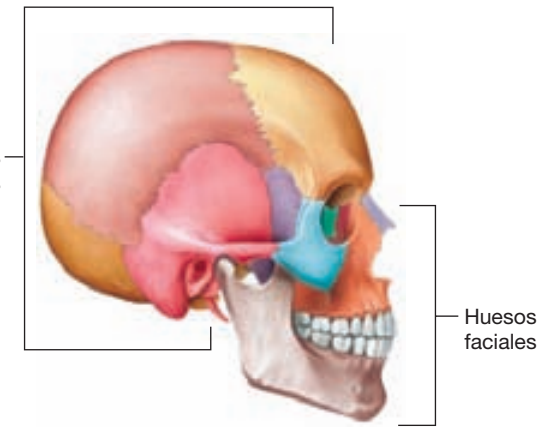
Este capítulo describe la anatomía estructural del esqueleto de la cabeza y el tronco, y comenzará por el cráneo. Antes de seguir adelante, puede ser útil repasar las referencias de dirección recogidas en las tablas 1.1 y 1.2 [pp. 15 y 16] y los términos presentados en la tabla 5.1 [p. 128]. En el ser humano, los 126 huesos restantes constituyen el **esqueleto de las extremidades.** Este segundo componente abarca los huesos de los miembros y las **cinturas escapular** y **pélvica** que los sujetan al tronco. El esqueleto de las extremidades se examinará en el capítulo 7.

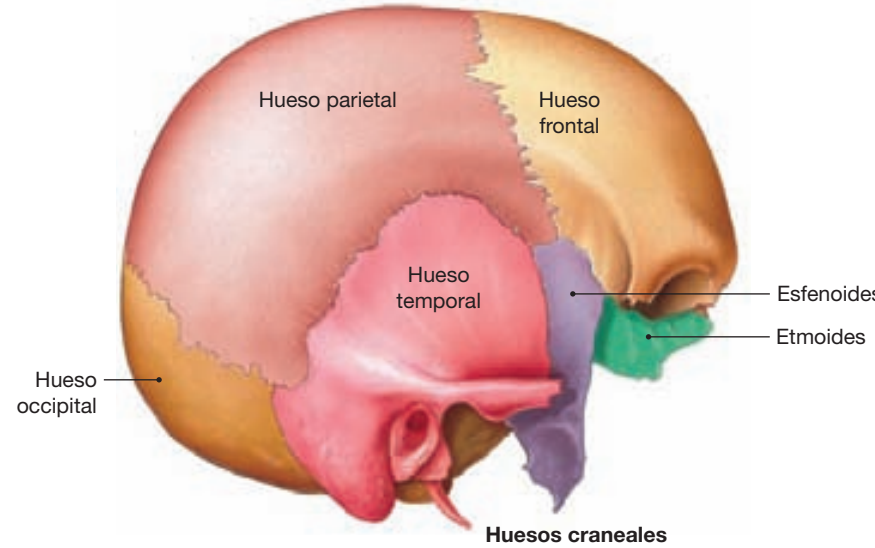
Cráneo y otros huesos asociados

[v. figuras 6.2 a 6.7a]

El cráneo contiene 22 huesos: ocho forman el **cráneo,** o *cavidad craneal,* y 14 están asociados a la cara (**v. figuras 6.2 a 6.5**).

El cráneo rodea y protege al encéfalo. Está compuesto por los huesos *occipital, parietal, frontal, temporal, esfenoides* y *etmoides.* Estos elementos encierran la **cavidad craneal,** un espacio lleno de líquido que amortigua y sostiene el encéfalo. Los vasos sanguíneos, los nervios y las membranas que estabilizan su posición se encuentran sujetos a la cara interna del cráneo. Su cara externa ofrece una amplia superficie para la inserción de los músculos que mueven los ojos, la mandíbula y la cabeza. Una articulación especializada entre el hueso occipital y la primera vértebra de la columna dota de estabilidad a la posición del cráneo y la columna vertebral, a la vez que deja un considerable margen de amplitud a los movimientos de la cabeza.



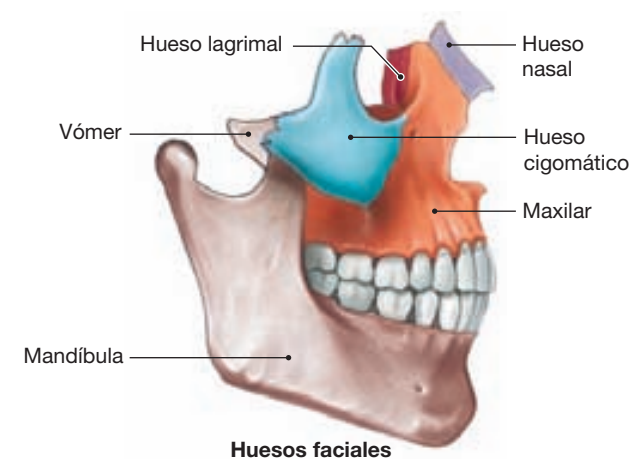


Huesos craneales

CRÁNEO	
HUESOS ASOCIADOS	7
Huesecillos del oído encerrados en los huesos temporales *(detallados en el capítulo 18)*	6
Hueso hioides	1

CRÁNEO	8
Hueso occipital	1
Huesos parietales	2
Hueso frontal	1
Huesos temporales	2
Esfenoides	1
Etmoides	1

CARA	14
Maxilares	2
Huesos palatinos	2
Huesos nasales	2
Cornetes nasales inferiores	2
Huesos cigomáticos	2
Huesos lagrimales	2
Vómer	1
Mandíbula	1



Huesos faciales

Figura 6.2 Subdivisiones craneal y facial del cráneo
El cráneo puede dividirse en el componente craneal y el componente facial. Los huesos palatinos y los cornetes nasales inferiores de la subdivisión facial no son visibles desde esta perspectiva. Tampoco se muestran los siete huesos asociados.

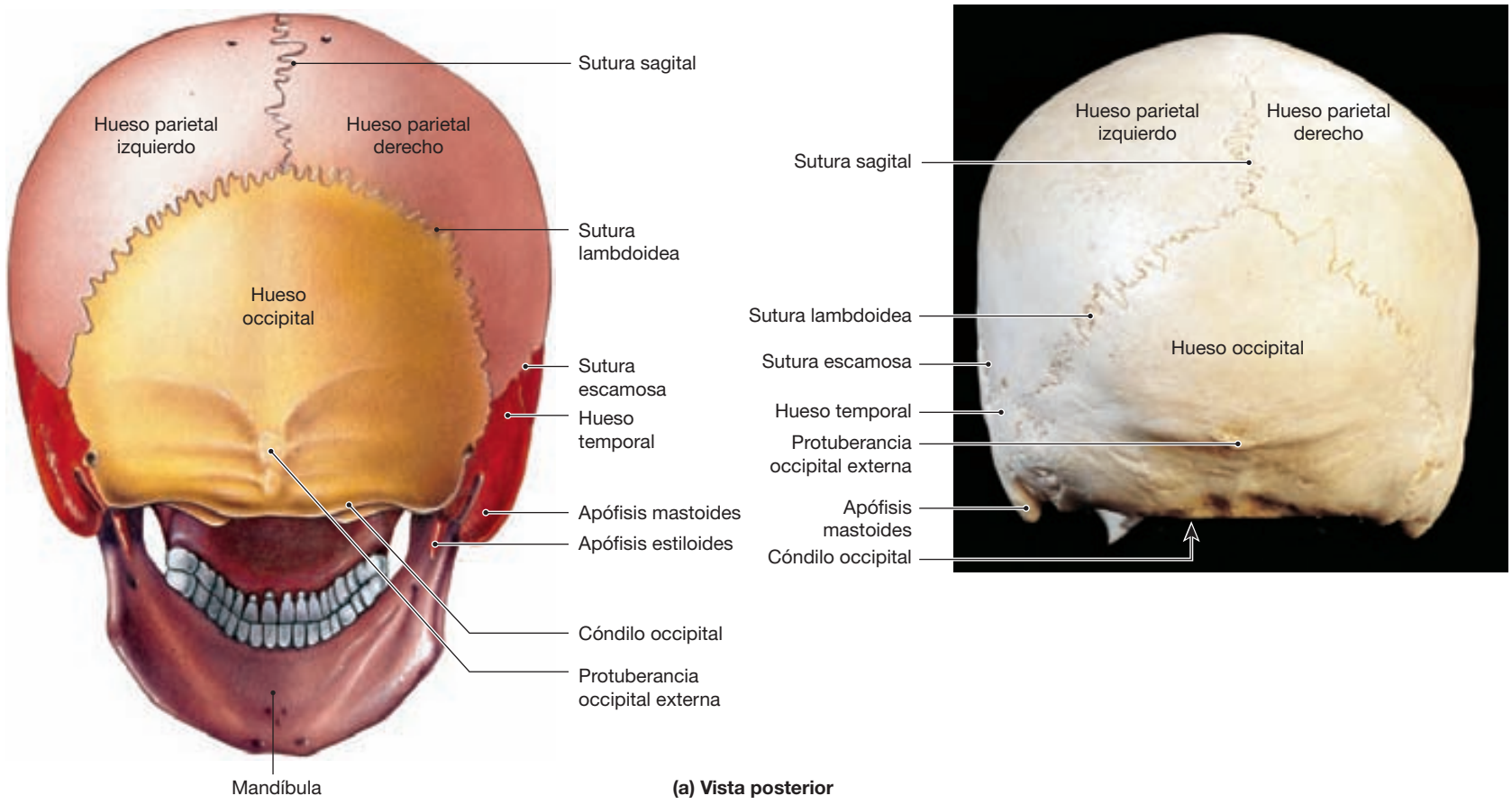
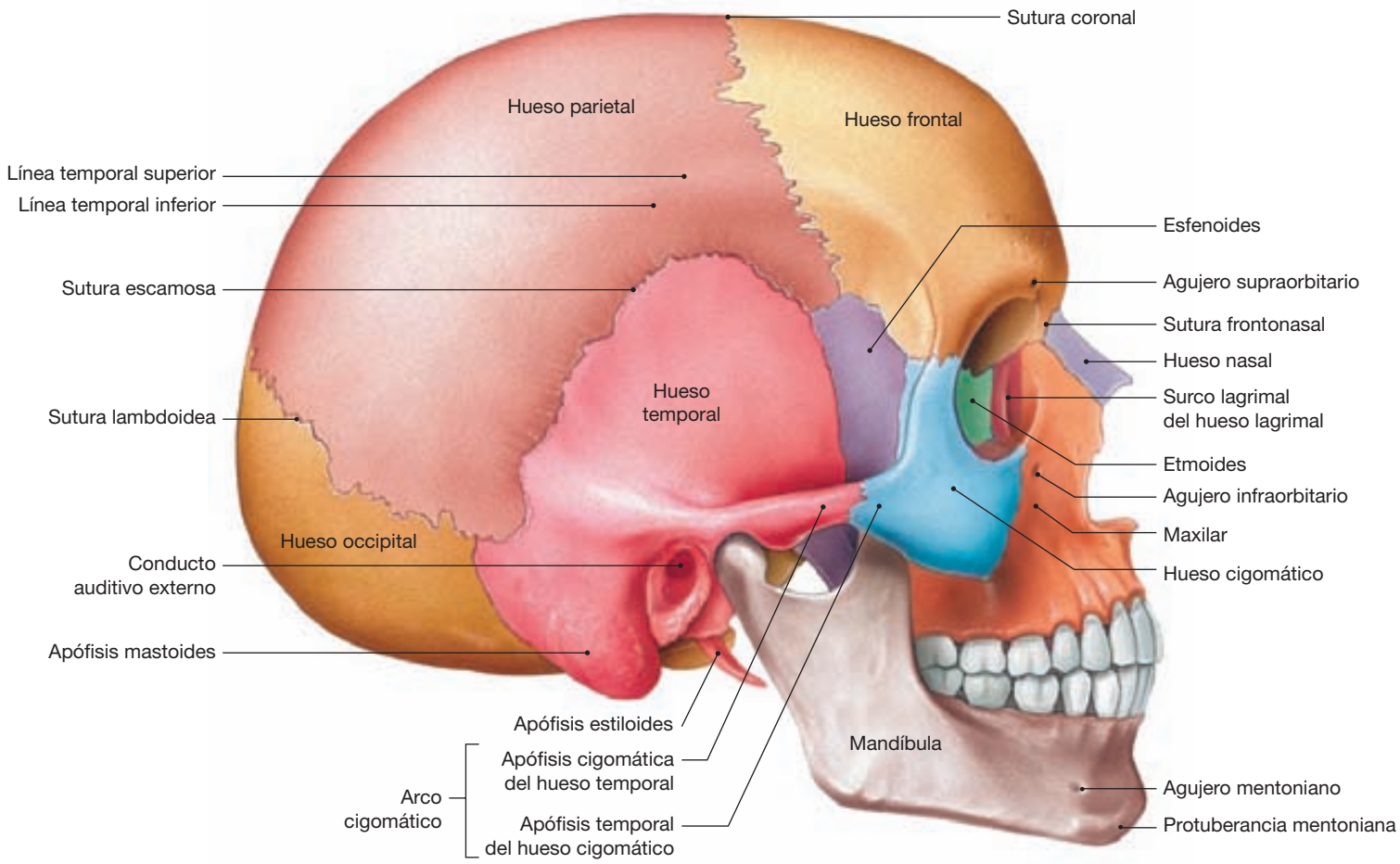
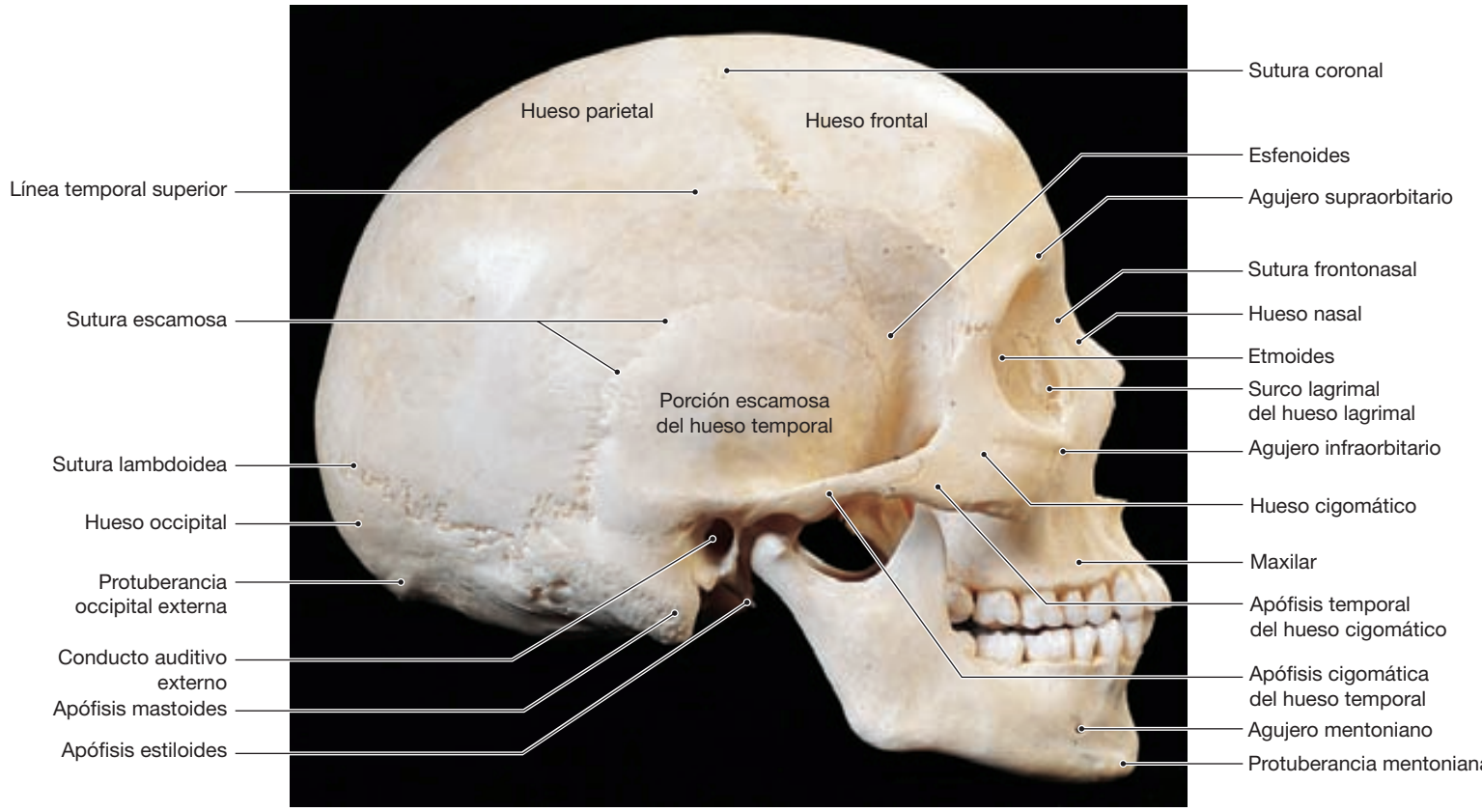


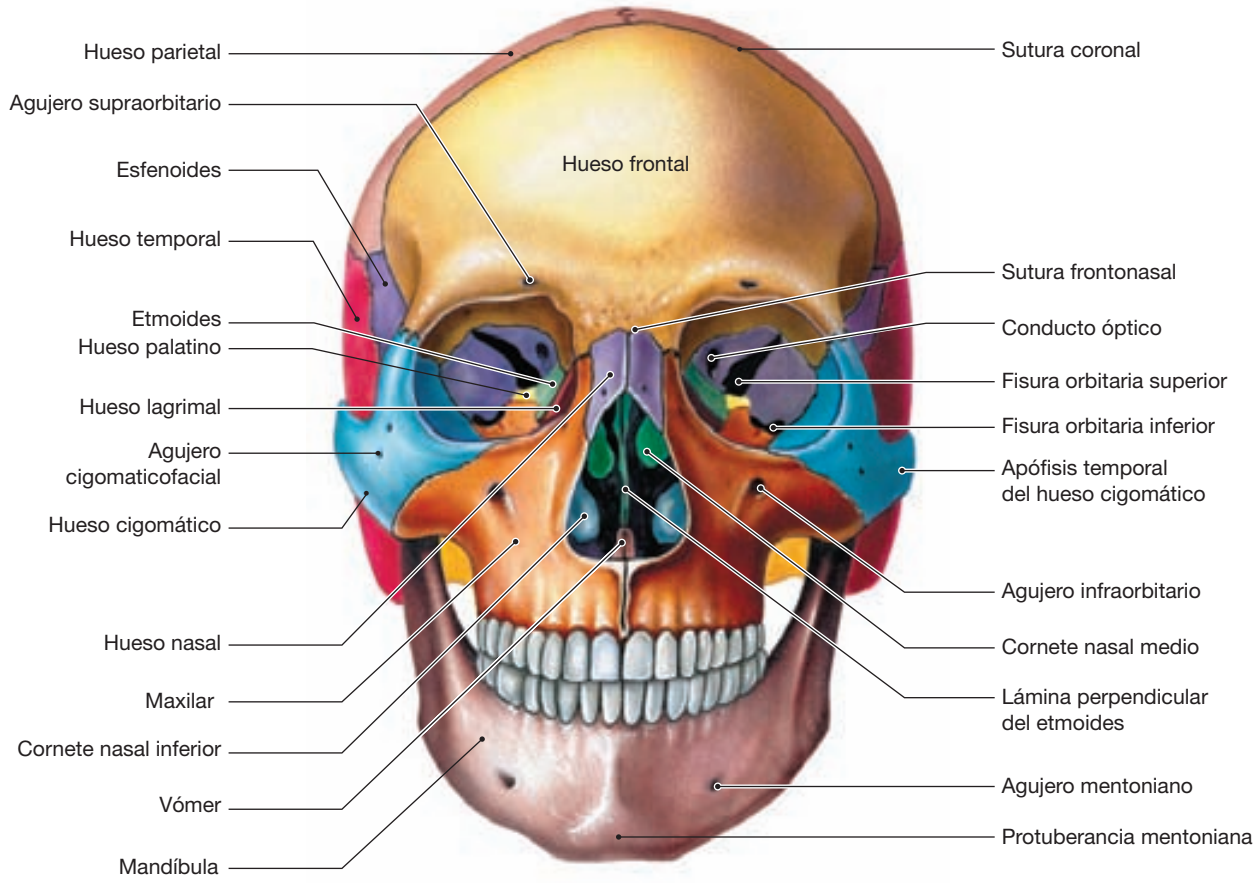
Figura 6.3 Cráneo del adulto
Los huesos del cráneo del adulto se muestran en unas vistas posterior **(a),** superior **(b),** lateral **(c),** anterior **(d)** e inferior **(e).**

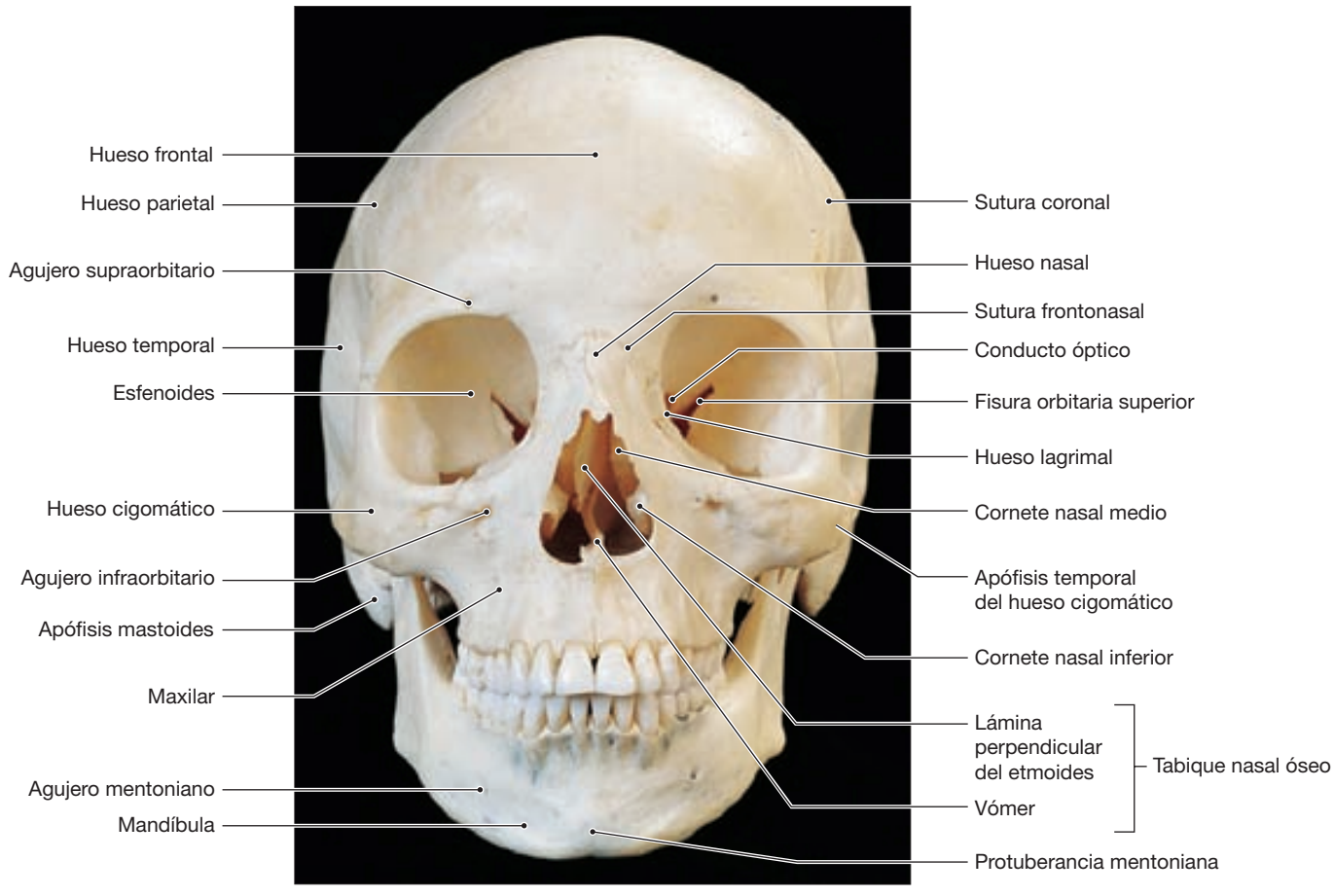




(c) Vista lateral

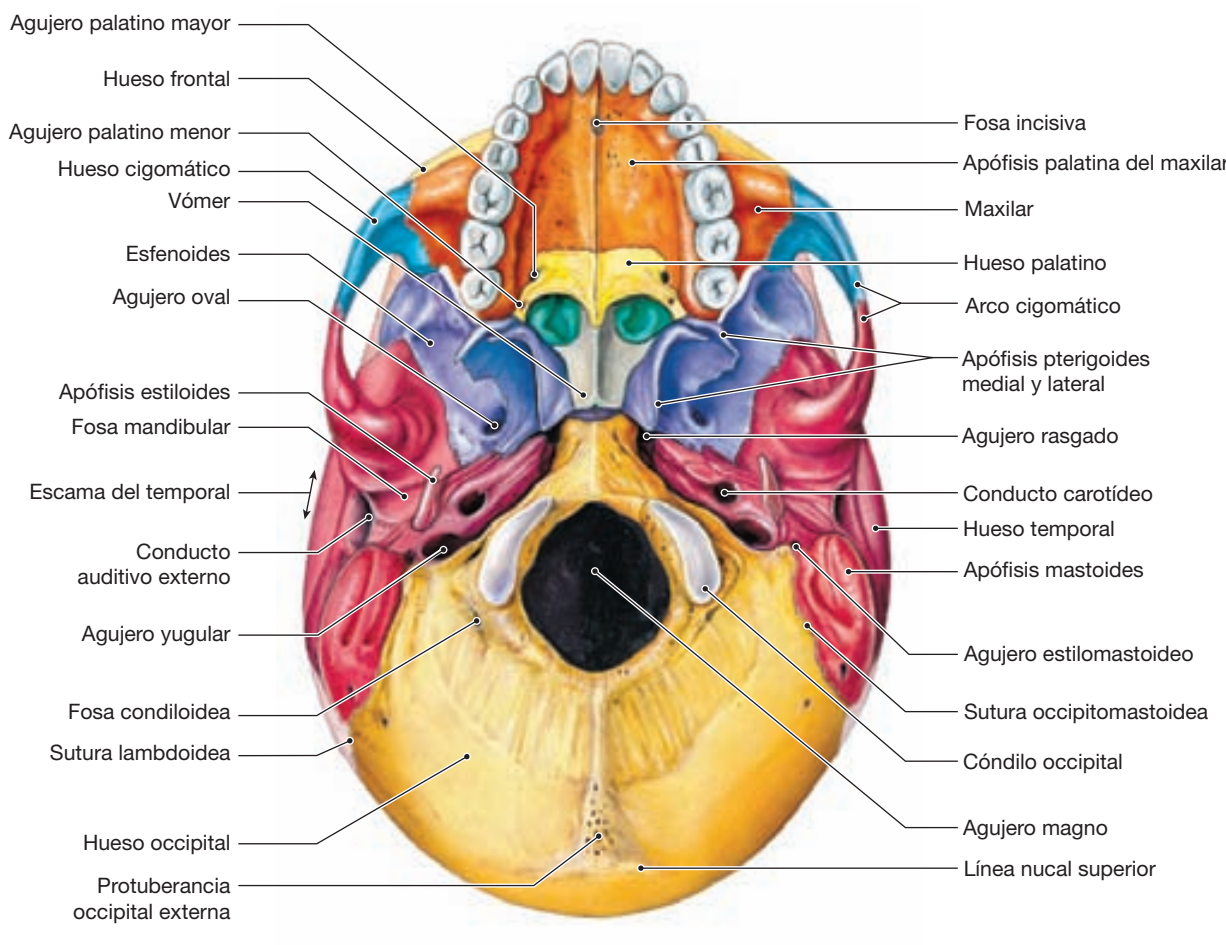
Figura 6.3 ***(cont.)***

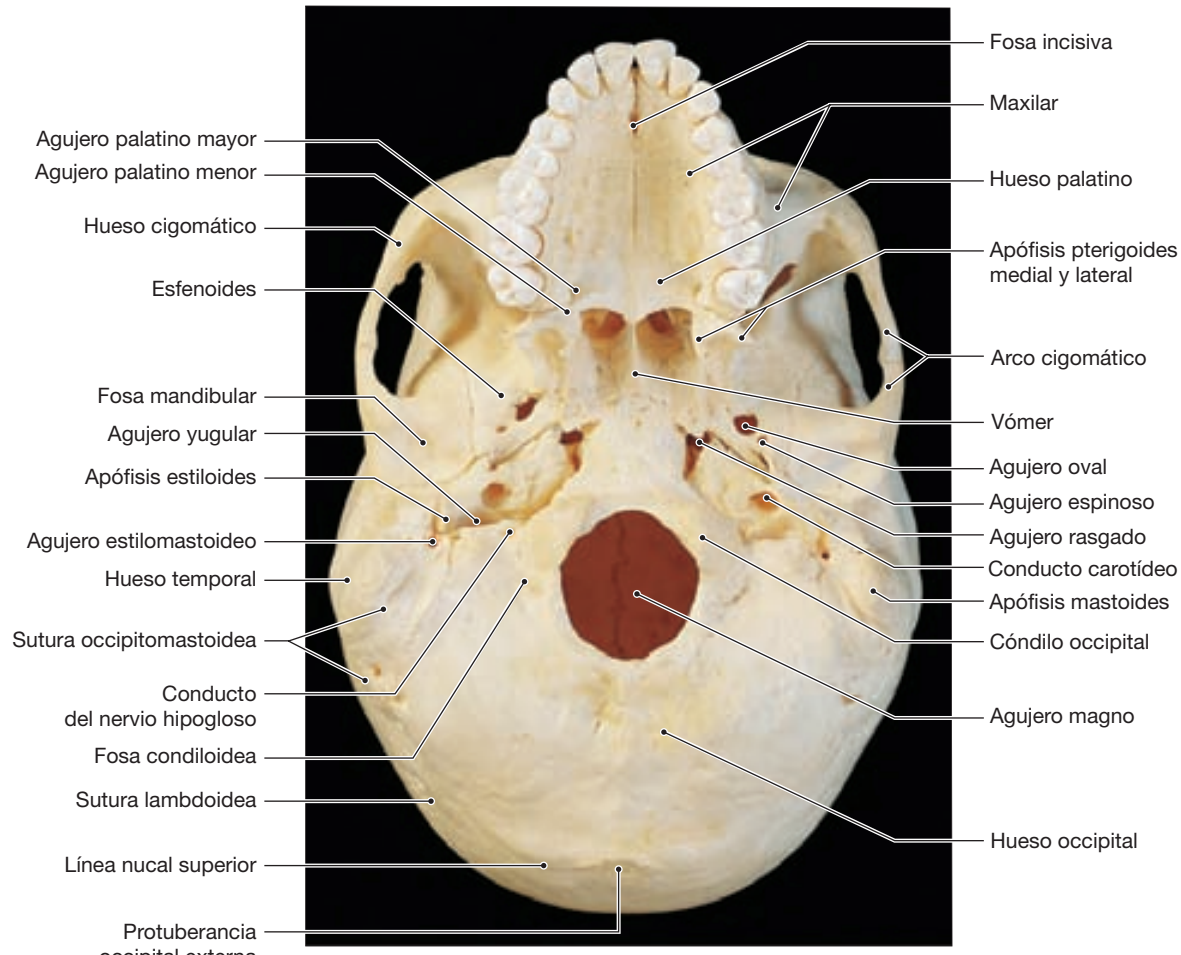




(d) Vista anterior

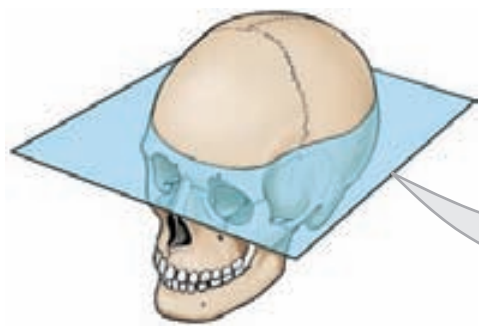
Figura 6.3 ***(cont.)***

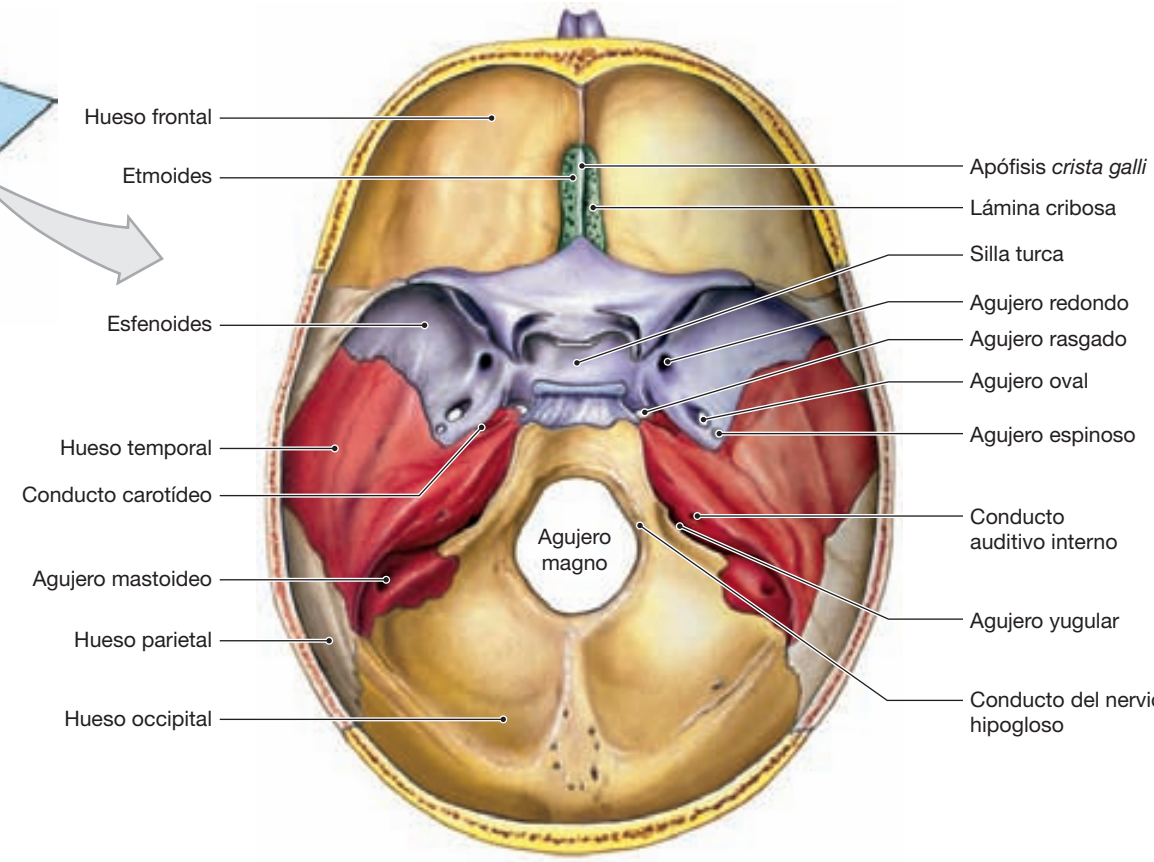


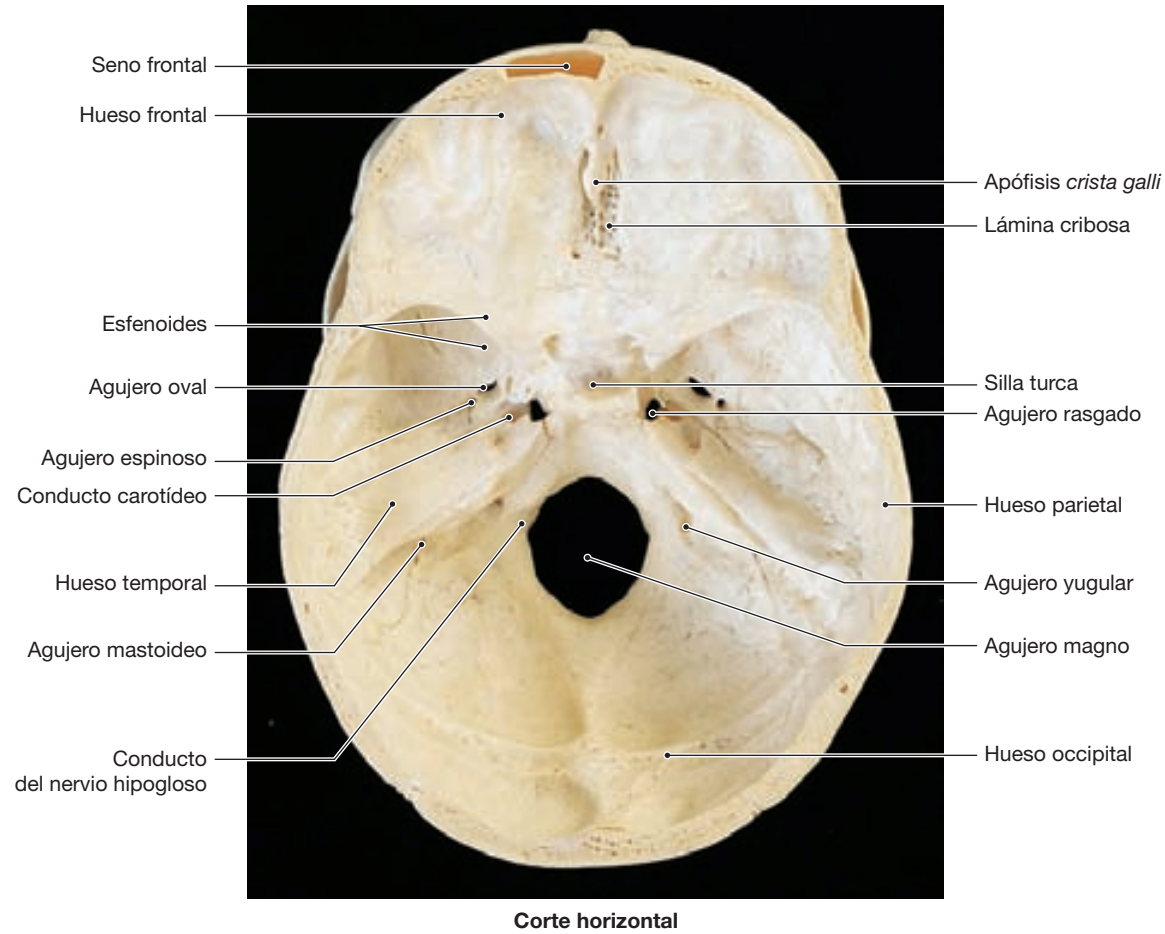


(e) Vista inferior, tras retirar la mandíbula

Figura 6.3 ***(cont.)***

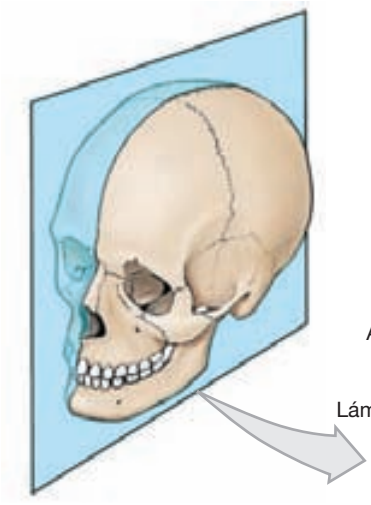


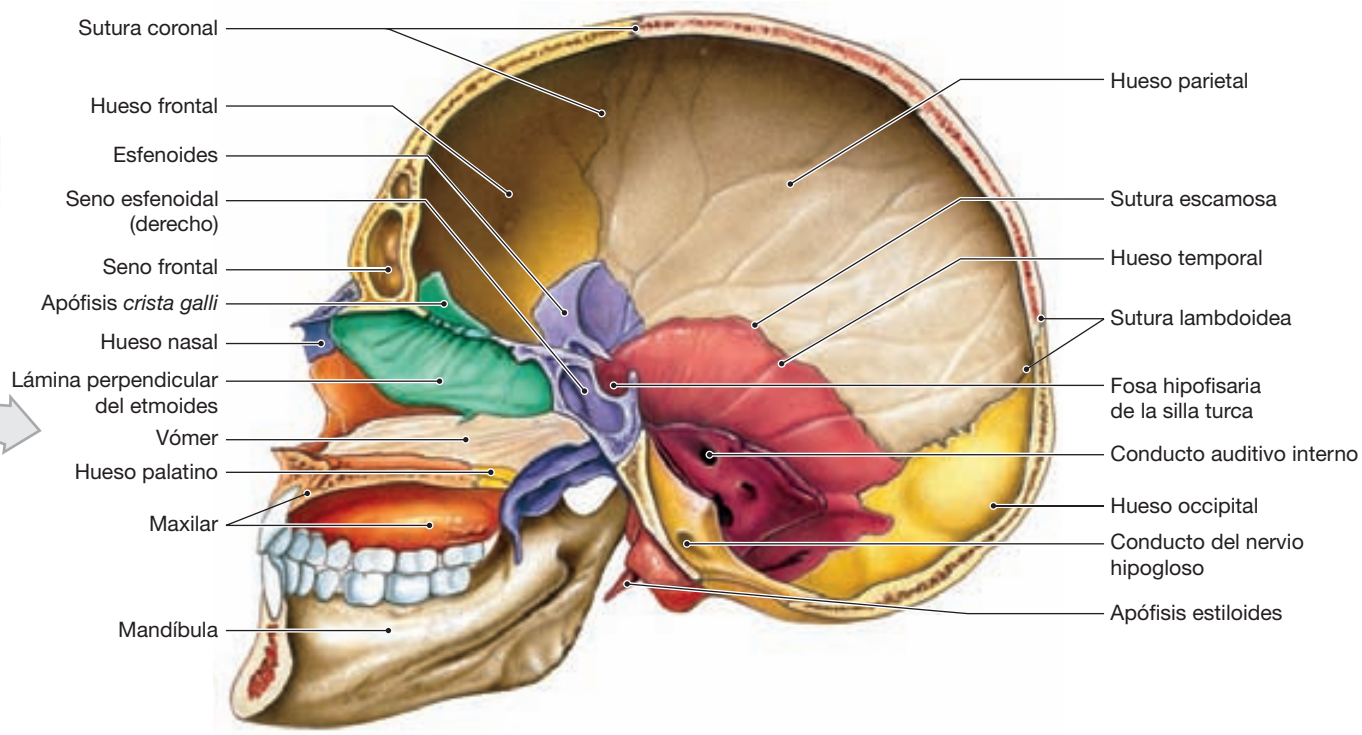


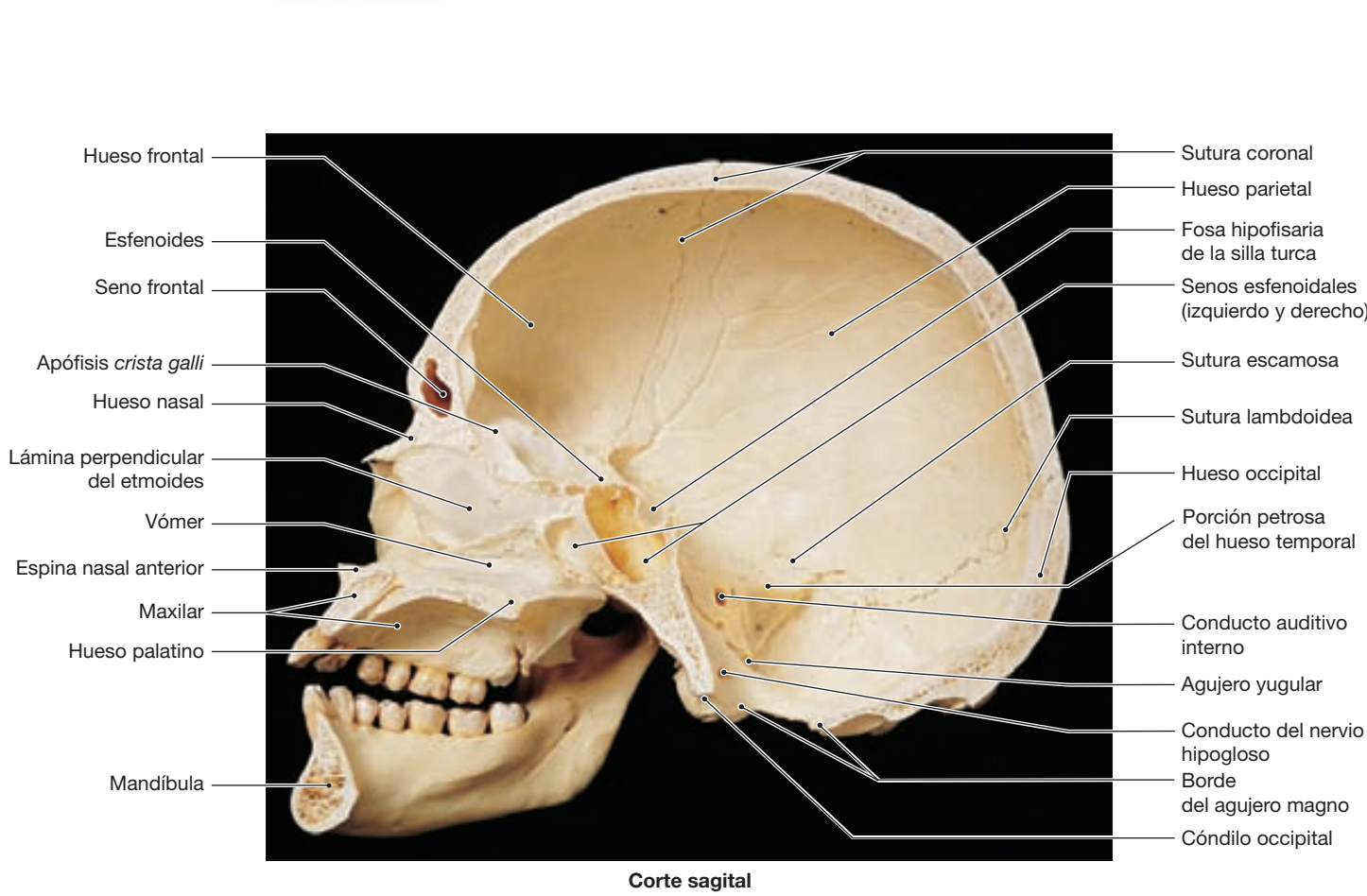


Corte horizontal

Figura 6.4 Anatomía seccional del cráneo, parte I
Corte horizontal: vista superior que muestra los principales detalles del suelo de la cavidad craneal.







Corte sagital

Figura 6.5 Anatomía por cortes del cráneo, parte II
Corte sagital: vista medial de la mitad derecha del cráneo. Como el tabique nasal óseo está íntegro, no puede verse la cavidad nasal derecha.

Si el cráneo es la casa donde reside el encéfalo, el *macizo facial* es el porche de la parte delantera. Los **huesos faciales** protegen y mantienen la entrada al tubo digestivo y a las vías respiratorias. Los huesos superficiales de la cara –*maxilares, palatinos, nasales, cigomáticos, lagrimales, vómer* y *mandíbula* (v. figura 6.2, p. 135)– proporcionan una superficie para la inserción de los músculos que controlan la expresión facial y colaboran en el manejo de los alimentos.

Los límites entre los huesos del cráneo corresponden a unas articulaciones inmóviles llamadas **suturas.** En una sutura, los huesos están unidos con firmeza mediante tejido conjuntivo fibroso denso. Cada sutura del cráneo lleva un nombre, pero en este instante sólo hace falta conocer las cinco principales: las suturas *lambdoidea, sagital, coronal, escamosa* y *frontonasal.*

- **Sutura lambdoidea.** La **sutura lambdoidea** forma un arco a través de la superficie posterior del cráneo (v. figura 6.3a, p. 136), que separa el *hueso occipital* de los *huesos parietales.* A lo largo de su recorrido puede observarse algún hueso wormiano *(huesos de las suturas)* o varios; sus dimensiones oscilan desde un grano de arena hasta una moneda de tamaño medio [p. 128].
- **Sutura sagital.** La **sutura sagital** comienza en el punto medio superior de la sutura lambdoidea y se extiende en sentido anterior entre los huesos parietales hasta llegar a la sutura coronal (v. figura 6.3b).
- **Sutura coronal.** Por su extremo anterior, la sutura sagital acaba en la intersección con esta sutura. La **sutura coronal** cruza la cara superior del cráneo y separa el *hueso frontal,* que queda en su parte anterior, de los huesos parietales, más posteriores (v. figura 6.3b). Los huesos occipital, parietal y frontal forman la **calota,** también llamada *bóveda craneal.*
- **Sutura escamosa.** La **sutura escamosa** que hay a cada lado del cráneo señala el límite entre el *hueso temporal* y el hueso parietal de ese lado. En la figura 6.3a pueden observarse las suturas escamosas, a nivel de su intersección con la sutura lambdoidea. En la figura 6.3c se ve el recorrido de la sutura escamosa en el lado derecho del cráneo.
- **Sutura frontonasal.** La **sutura frontonasal** marca el límite entre las caras superiores de los dos huesos nasales y el hueso frontal (v. figura 63c.d).

Huesos del cráneo [v. figuras 6.3 a 6.5]

A continuación, pasaremos a analizar cada uno de los huesos del cráneo. A lo largo de la exposición, las figuras facilitadas sirven para confeccionar una perspectiva tridimensional de cada hueso en concreto. Las crestas y los agujeros que se detallan aquí marcan la inserción de músculos o el paso de nervios y vasos sanguíneos que se estudiarán en capítulos posteriores. Las figuras 6.3, 6.4 y 6.5 muestran el cráneo adulto en imágenes de superficie y por cortes.

Hueso occipital [v. figuras 6.3a-c,e/6.6a,b]

El **hueso occipital** forma parte de las caras posterior, lateral e inferior del cráneo (v. figura 6.3a-c,e). Su cara inferior contiene un gran orificio circular, el **agujero magno** (v. figura 6.3e), que pone en conexión la cavidad craneal con la cavidad medular encerrada por la columna vertebral. El cráneo se articula con la primera vértebra cervical por los **cóndilos occipitales** adyacentes. La cara posterior externa del hueso occipital (v. figura 6.6a) presenta varias crestas destacadas. La **cresta occipital externa** adopta una dirección posterior desde el agujero magno, y acaba en un pequeño relieve situado en la línea media que se llama **protuberancia occipital externa.** Otras dos crestas horizontales se cruzan con ella, las **líneas nucales inferior** y **superior.** Estas líneas señalan la inserción de los músculos y ligamentos que estabilizan la articulación entre la primera vértebra y el cráneo mediante los cóndilos occipitales y mantienen en equilibrio el peso de la cabeza sobre las vértebras del cuello. El hueso occipital interviene en la pared del gran **agujero yugular** (v. figura 6.3e). La *vena yugular interna* atraviesa este orificio para verter la sangre venosa del encéfalo. Los **conductos del nervio hipogloso** comienzan en la parte lateral de la base de cada cóndilo occipital, justo por encima de ellos (v. figura 6.6a). Los *nervios hipoglosos,* nervios craneales que controlan la musculatura de la lengua, pasan por estos conductos.

En el interior del cráneo, los conductos del nervio hipogloso nacen en la cara interna del hueso occipital cerca del agujero magno (v. figura 6.6b). Observe la concavidad de esta cara, que sigue fielmente el contorno del encéfalo. Los surcos reproducen el curso de los principales vasos, y las crestas indican los lugares donde se fijan las membranas (las *meninges*) que dan estabilidad a la posición del encéfalo.

Huesos parietales [v. figuras 6.3b-c/6.5/6.6c]

Los dos **huesos parietales** forman parte de las caras superior y lateral del cráneo y forman la parte principal de la calota (v. figura 6.3b,c). La superficie externa de cada uno (v. figura 6.6c) contiene dos crestas de poca altura, las **líneas temporales superior** e **inferior.** Su presencia señala la inserción del *músculo temporal,* un gran músculo encargado de cerrar la boca. La superficie parietal lisa que queda por encima de estas líneas se denomina **eminencia parietal.** Las superficies internas de los huesos parietales conservan las huellas dejadas por las arterias y las venas craneales que se ramifican en el interior del cráneo (v. figura 6.5).

Hueso frontal [v. figuras 6.3b-d/6.5/6.7]

El **hueso frontal** forma la frente y el techo de las órbitas (v. figura 6.3b-d). Durante el desarrollo, los huesos del cráneo se originan por la fusión de centros de osificación diferentes y al llegar al parto este proceso aún no ha concluido. En ese momento hay dos huesos frontales que están articulados entre sí a lo largo de la **sutura frontal** *(metópica).* Aunque esta sutura suele desaparecer alrededor de los 8 años al fusionarse ambos huesos, muchas veces el hueso frontal de un adulto conserva rastros de la línea correspondiente.

La sutura frontal, o lo que quede de ella, deesciende por el centro de la **eminencia frontal** de este hueso (v. figura 6.7a). La superficie convexa anterior de la parte frontal se denomina *escama* o frente. Las superficies laterales contienen la continuación anterior de las líneas temporales superiores. La porción frontal del hueso frontal acaba en los **bordes supraorbitarios,** que marcan los límites superiores de las órbitas, las fosas óseas que mantienen y protegen los globos oculares. Por encima de ellos hay unas crestas gruesas, los **arcos superciliares,** que soportan las cejas. Cada reborde está perforado en su centro por un único **agujero** o **escotadura supraorbitaria.**

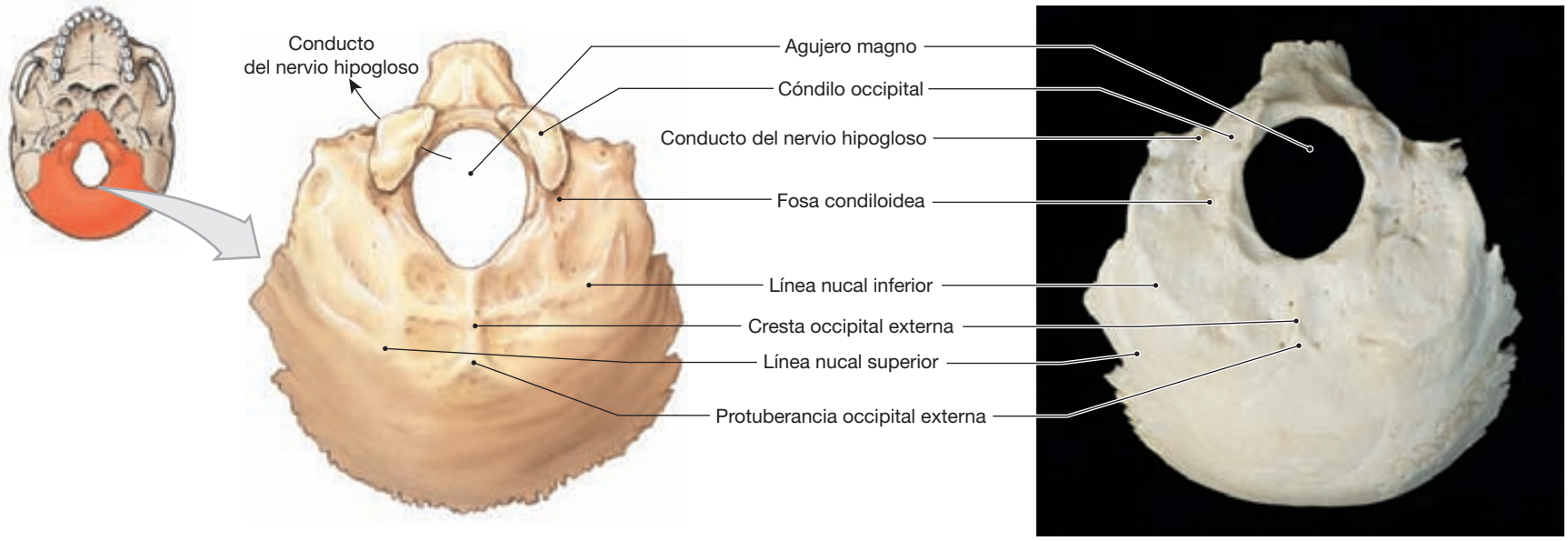
La **porción orbitaria** del hueso frontal forma el techo más o menos horizontal de cada órbita. Su superficie inferior es relativamente lisa, pero contiene pequeños orificios para el paso de los vasos sanguíneos y los nervios que se dirigen hacia las estructuras de la órbita o que salen de ellas. Muchas veces recibe el nombre de *cara orbitaria* del hueso frontal. La **fosa lagrimal** es poco profunda y marca la localización de la *glándula lagrimal* que lubrica la superficie del ojo (v. figura 6.7b).

La cara interna del hueso frontal sigue aproximadamente la forma de la porción anterior del cerebro (v. figura 6.7c). La superficie interior de la porción frontal ostenta un saliente, la **cresta frontal,** que señala la inserción de las membranas que, además de cumplir otras funciones, evitan el contacto entre los delicados tejidos cerebrales y los huesos del cráneo.

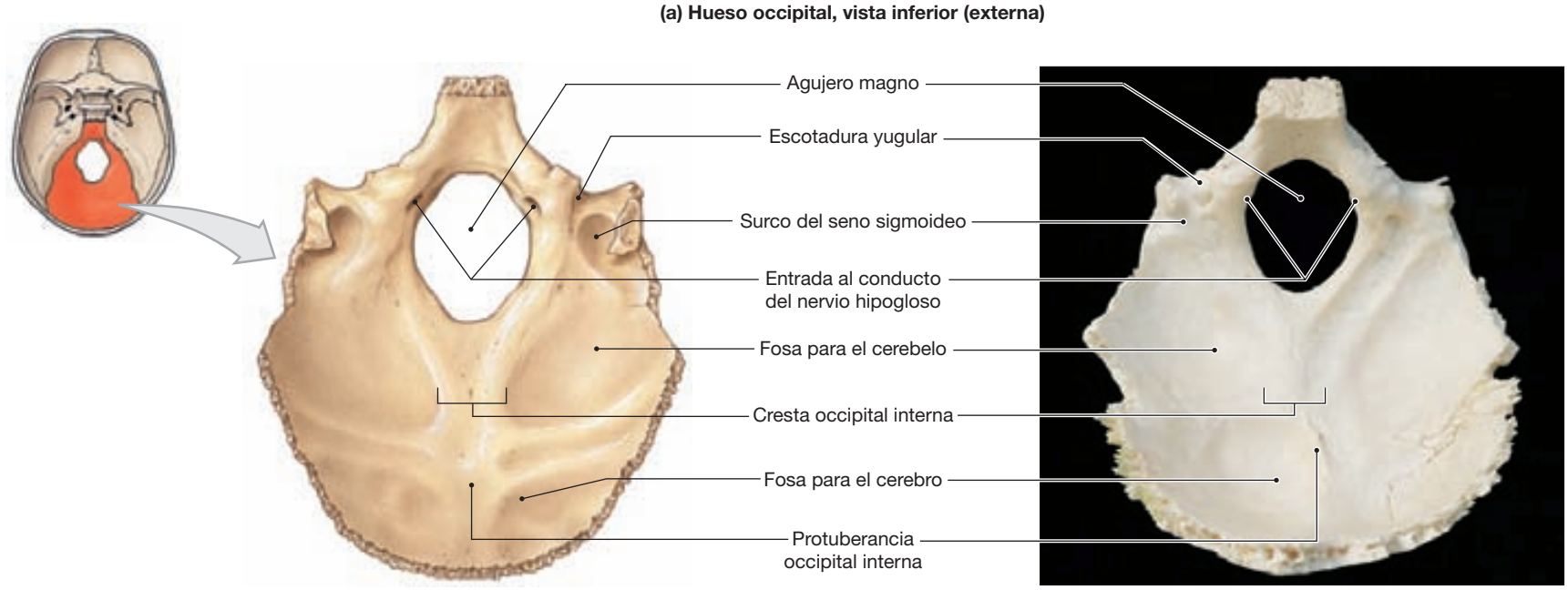
Los **senos frontales** (v. figuras 6.5 y 6.7b) varían de tamaño y también por su momento de aparición. Suelen formarse pasados los 6 años de edad, pero en algunas personas jamás se desarrollan. Su descripción se realizará en un apartado posterior junto a los demás senos.

Huesos temporales [v. figuras 6.3c-e/6.8]

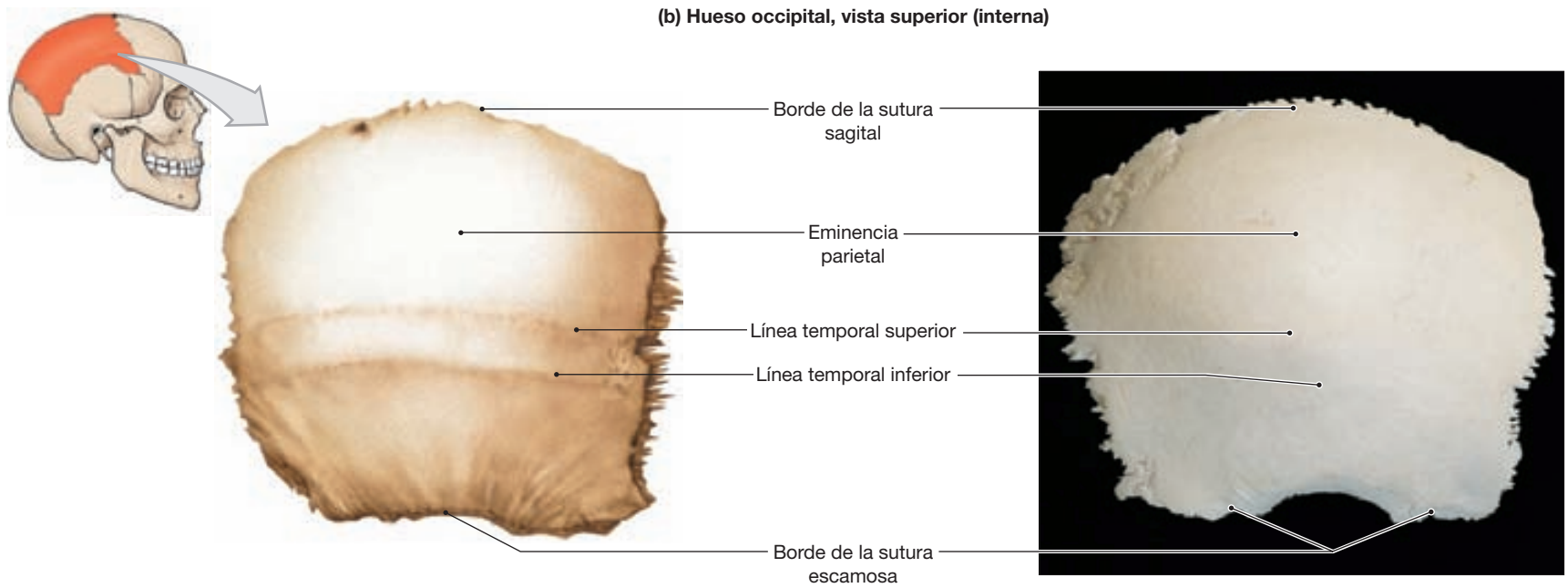
Los dos **huesos temporales** toman parte en las paredes lateral e inferior del cráneo; contribuyen a constituir el *arco cigomático* de la mejilla, forman las únicas articulaciones existentes con la mandíbula y protegen los órganos de los sentidos situados en el oído interno. Además, las superficies convexas que que-



(a) Hueso occipital, vista inferior (externa)



(b) Hueso occipital, vista superior (interna)



(c) Hueso parietal, cara externa

Figura 6.6 Huesos occipital y parietal
El hueso occipital se ofrece en una vista inferior (externa) **(a)** y otra superior (interna) **(b). (c)** Vista lateral del hueso parietal derecho; para consultar una vista medial, *véase la figura 6.5*.

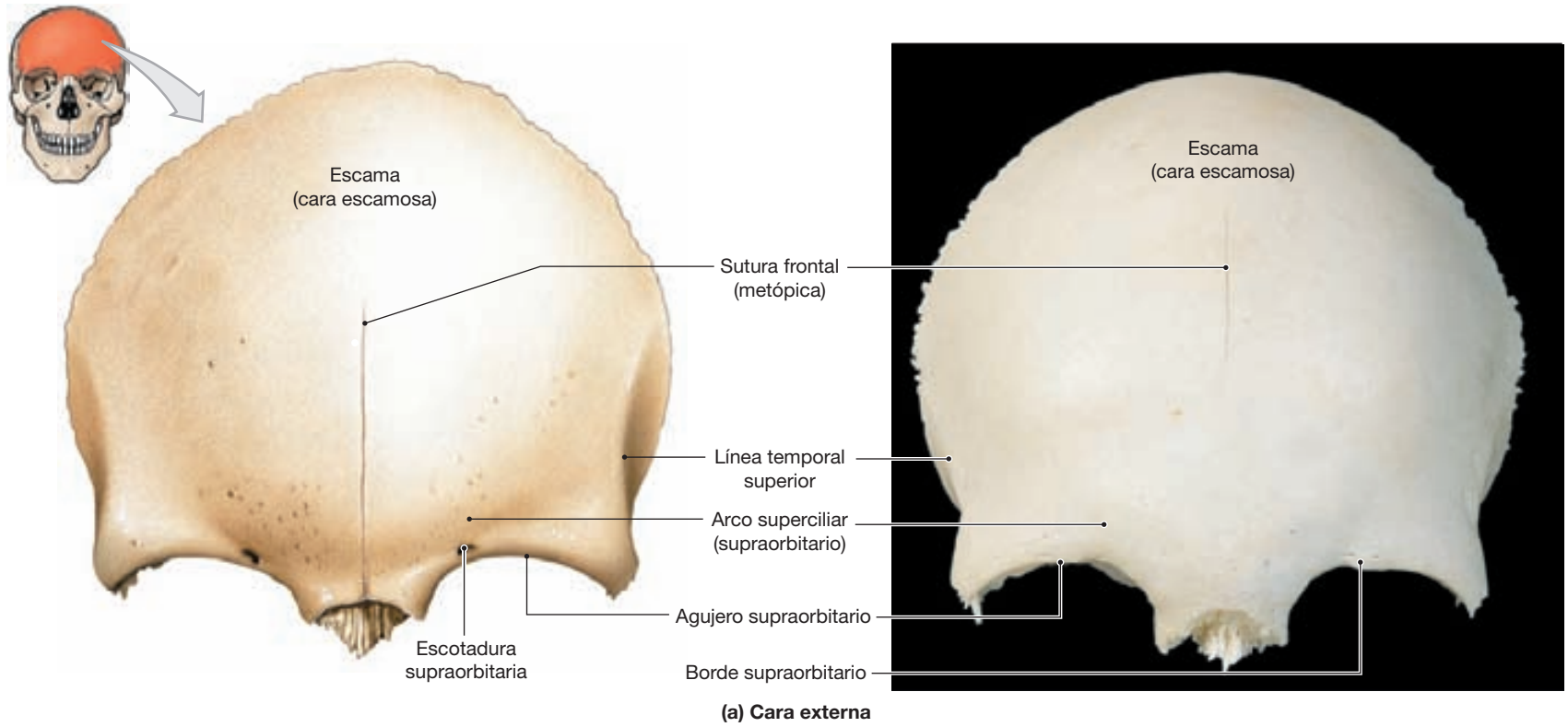
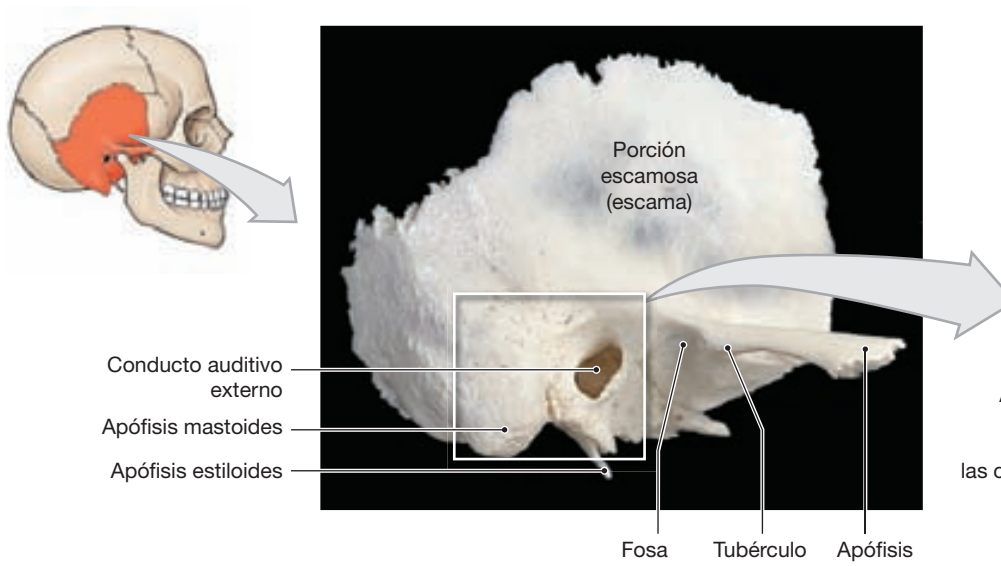


Figura 6.7 **Hueso frontal**
El hueso frontal se ofrece en una vista anterior **(a),** otra inferior **(b)** y otra posterior (interna) **(c).**

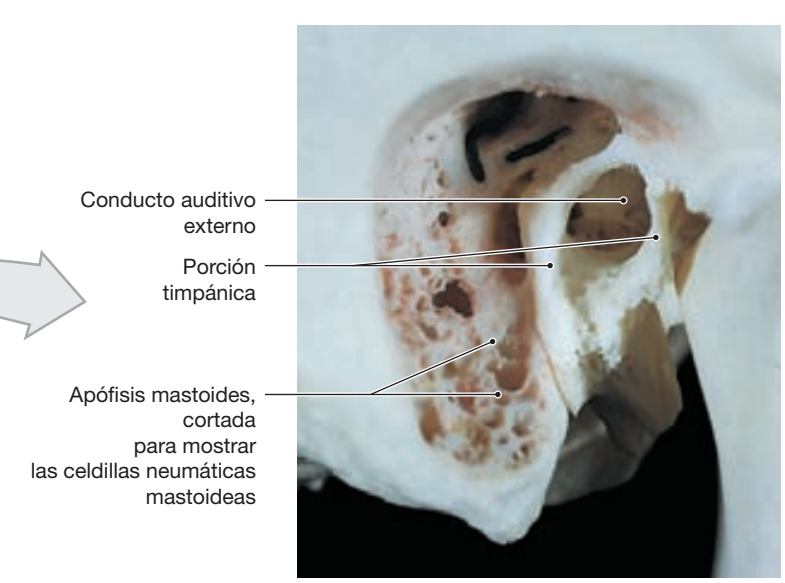
dan inferiores a cada hueso parietal configuran una amplia zona para la inserción de los músculos que cierran la mandíbula y mueven la cabeza (v. figura 6.3c, p. 137). Los huesos temporales se articulan con los huesos cigomáticos, los parietales y el occipital, aparte de con el esfenoides y la mandíbula. Cada hueso temporal tiene una porción escamosa, otra timpánica y otra petrosa.

La **porción escamosa** del hueso temporal es la cara lateral que queda limitada por la sutura escamosa (v. figura 6.8a,d). Su superficie externa convexa es la *escama;* la interna cóncava, cuya curvatura va paralela a la superficie del encéfalo, es la *cara cerebral.* El borde inferior de la porción escamosa está formado por la **apófisis cigomática,** estructura prominente que gira en sentido lateral y anterior para reunirse con la **apófisis temporal** del *hueso cigomático.* En conjunto, estas dos apófisis constituyen el **arco cigomático,** el hueso de la mejilla. Bajo la base de la apófisis cigomática, el hueso temporal se articula con la mandíbula. Esta zona la señala una depresión llamada **fosa mandibular** y un **tubérculo articular** elevado (v. figura 6.8a,c).

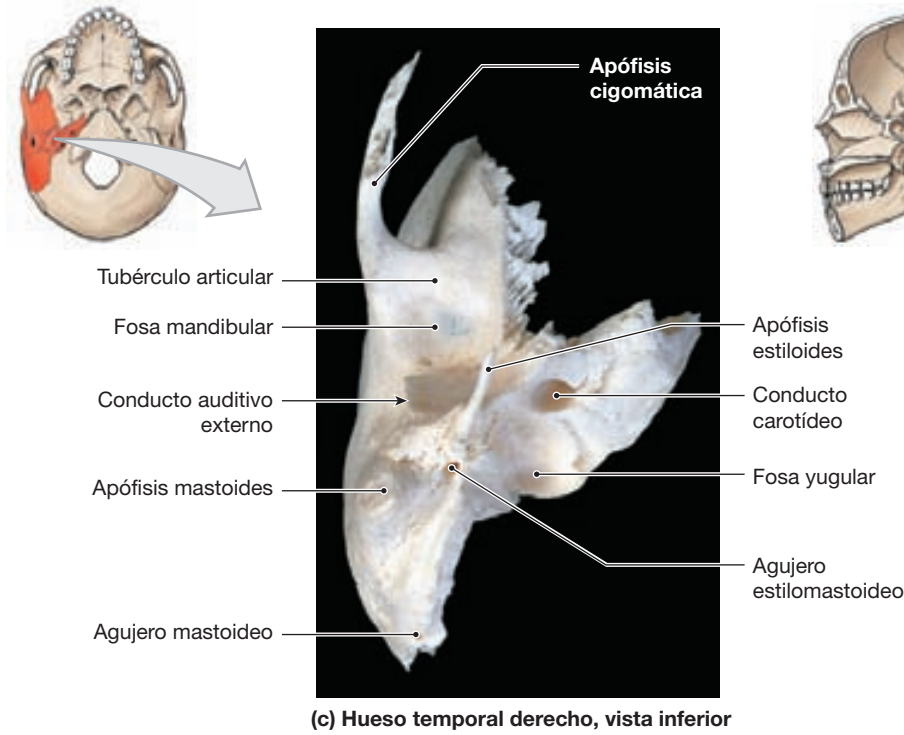
En una posición inmediatamente posterior y lateral a la fosa mandibular está la **porción timpánica** del hueso temporal (v. figura 6.8b). Esta región rodea la entrada al **conducto auditivo externo,** o *meato acústico externo.* En vida, dicha vía de conducción acaba en la delicada **membrana del tímpano,** o tímpano, que se desintegra durante la preparación de un cráneo seco.



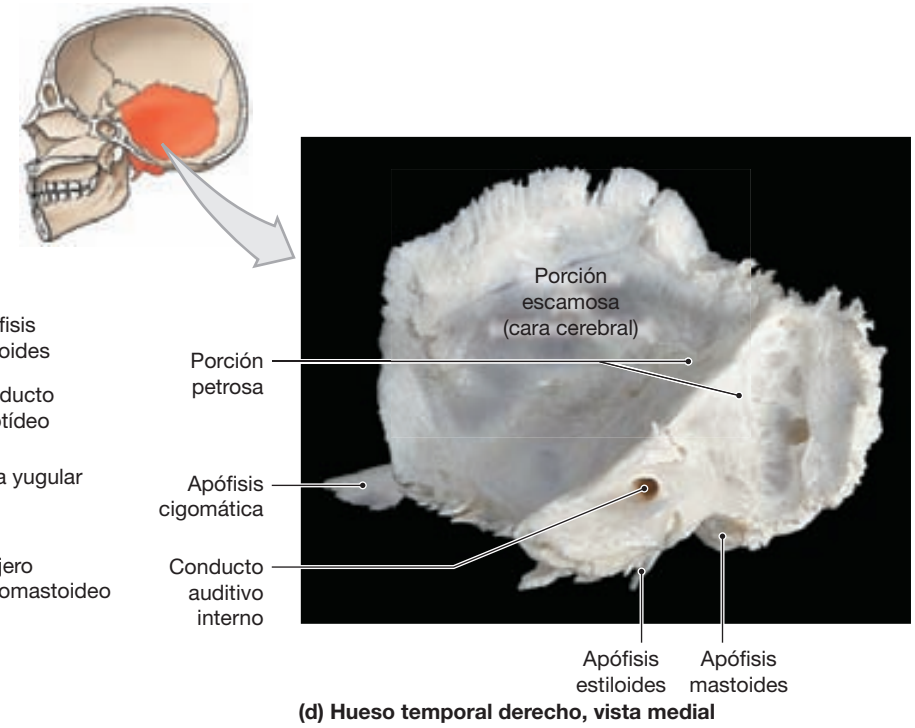
(a) Hueso temporal derecho, vista lateral


Conducto auditivo externo
Porción timpánica
Apófisis mastoides, cortada para mostrar las celdillas neumáticas mastoideas

(b) Celdillas neumáticas mastoideas



(c) Hueso temporal derecho, vista inferior



(d) Hueso temporal derecho, vista medial

Figura 6.8 Hueso temporal
Los principales detalles anatómicos se ofrecen en un hueso temporal derecho: **(a)** vista lateral, **(b)** vista de un corte a través de las celdillas neumáticas mastoideas, **(c)** vista inferior, **(d)** vista medial.

La parte más abultada del hueso temporal es la **porción petrosa** (*petros,* piedra), que rodea y protege a los órganos de los sentidos especializados en el oído y el equilibrio. En su cara lateral, el abombamiento que ocupa una posición posterior e inferior al conducto auditivo externo es la **apófisis mastoides** (v. figura 6.8a-c). Este elemento ofrece una zona de inserción para los músculos que rotan o extienden la cabeza. En su interior hay numerosos senos mastoideos conectados entre sí, que reciben el nombre de *celdillas neumáticas mastoideas* (v. figura 6.8b). Las infecciones de las vías respiratorias tienen la posibilidad de propagarse a estas celdillas, lo que se denomina *mastoiditis.*

En la superficie inferior de la porción petrosa pueden observarse varios detalles más (v. figura 6.8c). Cerca de la base de la apófisis mastoides, el **agujero mastoideo** penetra en el hueso temporal. Los vasos sanguíneos atraviesan esta vía de conducción para llegar a las membranas que rodean el encéfalo. Los ligamentos que sostienen al hueso hioides se fijan en la puntiaguda **apófisis estiloides** (*stylos,* pilar), igual que la musculatura de la lengua, la faringe y la laringe. El **agujero estilomastoideo** ocupa un lugar posterior a su base. El *nervio facial* pasa a través suyo para controlar los músculos faciales. En sentido medial, la **fosa yugular** está delimitada por los huesos temporal y occipital (v. figura 6.3e, p. 139). En una zona anterior y un poco medial al agujero yugular se encuentra la entrada al **conducto carotídeo.** La *arteria carótida interna,* un vaso fundamental que lleva sangre al encéfalo, se adentra en el cráneo por esta vía de conducción. En un área anterior y medial al conducto carotídeo, una hendidura irregular, el **agujero rasgado,** se extiende entre los huesos occipital y temporal. En vida, este espacio contiene cartílago hialino y pequeñas arterias que irrigan la superficie interna del cráneo.

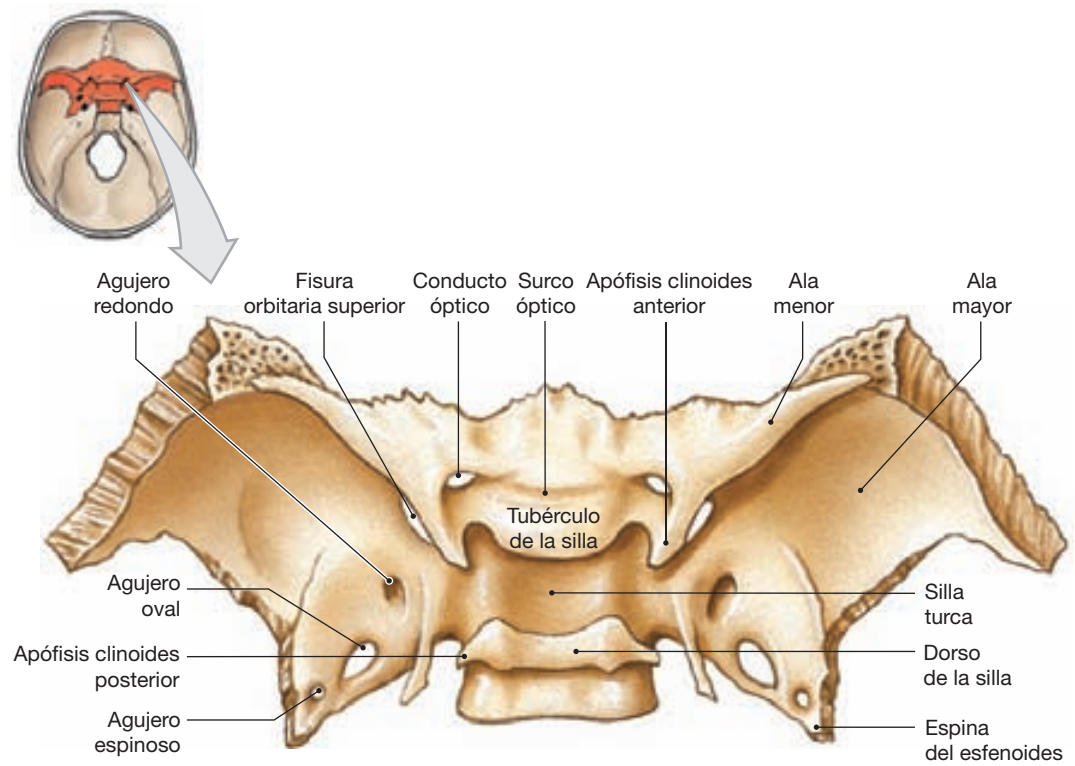
En una región lateral y anterior al agujero carotídeo, el hueso temporal se articula con el esfenoides. Un pequeño conducto nace a nivel de esa articulación y acaba introduciéndose en la masa del hueso temporal (v. figura 6.8c). Es el *conducto musculotubárico,* que rodea a la **trompa auditiva,** una vía de paso llena de aire. La trompa auditiva, también llamada *trompa de Eustaquio* o *trompa faringotimpánica,* comienza en la faringe y termina en la **cavidad timpánica,** un espacio abierto en el interior del hueso temporal. Esta cavidad, u *oído medio,* contiene los **huesecillos del oído,** unos minúsculos huesos que transmiten las vibraciones sonoras desde la membrana del tímpano hacia el complejo receptor situado en el oído interno, que se encarga del sentido del oído.

La porción petrosa predomina en la cara medial del hueso temporal (v. figura 6.8d). El **conducto auditivo interno** lleva los vasos sanguíneos y los nervios hasta el oído interno y el nervio facial hacia el agujero estilomastoideo. Toda la superficie medial del hueso temporal se caracteriza por la presencia de unos surcos indicativos de la localización de los vasos sanguíneos que recorren la cara interna del cráneo. La cresta afilada que existe en la superficie interna de la porción petrosa señala la inserción de una membrana que sirve para estabilizar el encéfalo en su posición.

Esfenoides [v. figuras 6.3c-e/6.4/6.9]

El **esfenoides,** o *hueso esfenoidal,* se articula con todos los demás huesos craneales y se extiende de un lado a otro por la base del cráneo. Aunque su tamaño es relativamente considerable, en gran parte está oculto por los elementos más superficiales del esqueleto. Actúa como un puente que une los huesos craneales con los faciales; se articula con los siguientes huesos: frontal, occipital, parietales, etmoides y temporales del cráneo, y palatinos, cigomáticos, maxilares y vómer del macizo facial (v. figura 6.3c-e, pp. 137-139). El esfenoides también opera como un refuerzo para afianzar la parte lateral del cráneo. Su **cuerpo** corresponde a la porción central del hueso.

El esfenoides se ha comparado a un murciélago gigante con las alas desplegadas debido a su forma general. Estas alas pueden verse con mayor claridad al contemplar la cara superior (v. figura 6.4 y 6.9a). Una depresión central situada entre las alas y claramente visible aloja la hipófisis debajo del

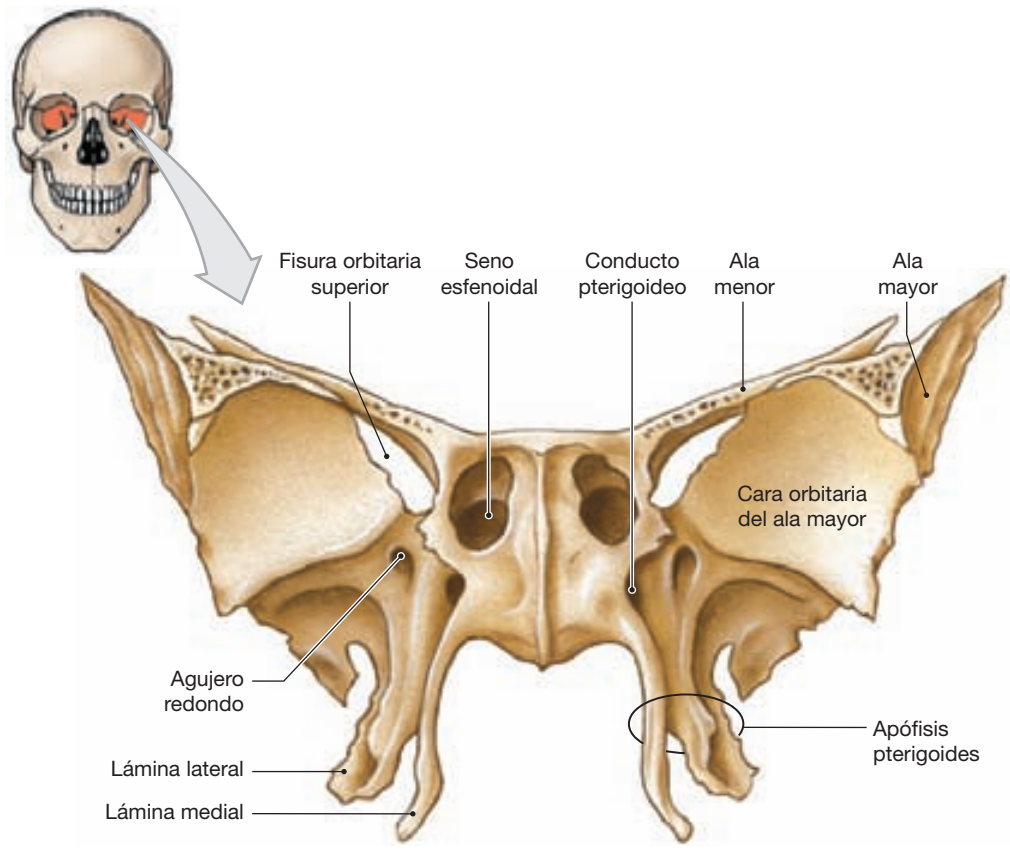


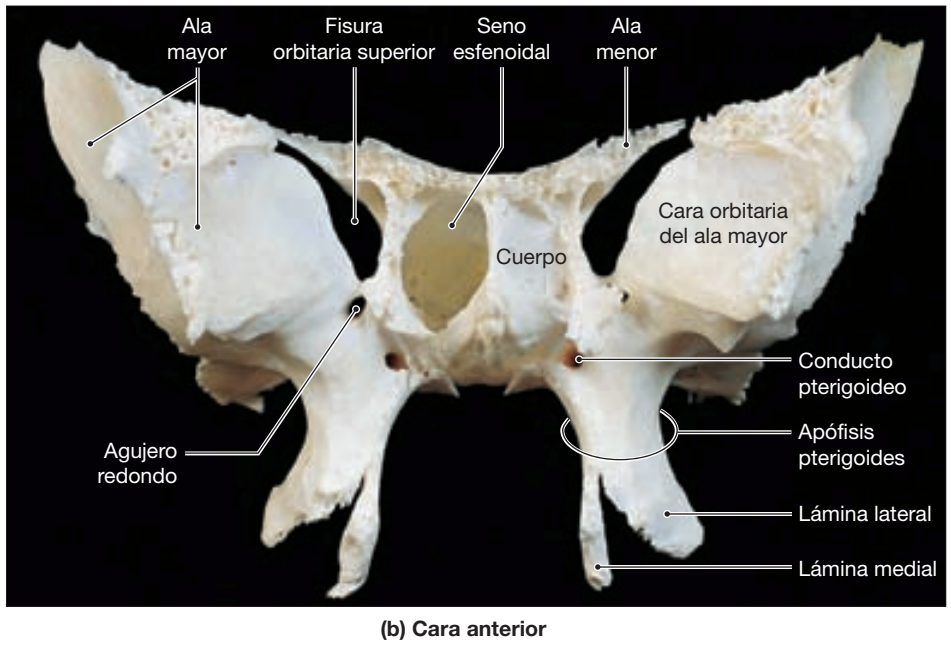
(a) Cara superior

Figura 6.9 Esfenoides

Vistas del esfenoides que ofrecen los principales detalles anatómicos que presentan sus caras superior **(a)** y anterior **(b).**

encéfalo. Este hueco se denomina **fosa hipofisaria** y todo el recinto óseo, **silla turca,** porque se parece presuntamente a una «montura turca». Un jinete que mire hacia adelante podría agarrar las **apófisis clinoides anteriores** a ambos lados. Estas estructuras son unas prominencias posteriores que se originan en las **alas menores** del esfenoides. El **tubérculo de la silla** forma el borde anterior de la silla turca; el **dorso de la silla** constituye su borde posterior. Una **apófisis clinoides posterior** se dirige en sentido lateral a ambos lados del dorso de la silla. Las alas menores tienen una configuración triangular, y sobre su cara superior está apoyado el lóbulo frontal del cerebro. Las caras inferiores toman parte en la órbita y en la porción superior de la **hendidura esfenoidal,** que sirve como vía de paso para los vasos sanguíneos y los nervios craneales del ojo.





(b) Cara anterior

Figura 6.9 ***(cont.)***

La hendidura transversal que cruza hasta la parte anterior de la montura, a un nivel superior a la altura del asiento, es el **surco óptico.** En cada uno de sus extremos existe un **conducto óptico.** Los *nervios ópticos* que transportan la información visual desde los ojos hasta el encéfalo recorren estos conductos. A ambos lados de la silla turca, el **agujero redondo,** el **agujero oval** y el **agujero espinoso** atraviesan las **alas mayores** del esfenoides. Estas comunicaciones dejan pasar vasos sanguíneos y nervios craneales hacia las estructuras de la órbita, la cara y la mandíbula. Por la zona posterior y lateral a estos agujeros, las alas mayores acaban en la puntiaguda **espina del esfenoides.** En una vista anterior también pueden verse las fisuras orbitarias superiores y los agujeros redondos izquierdo y derecho (v. figura 6.9b).

Las **apófisis pterigoides** (*pterygion,* ala) del esfenoides son dos salientes verticales que nacen en el límite entre las alas mayores y menores. Cada una está constituida por un par de *láminas* que ofrecen una zona importante para la inserción de los músculos encargados de mover la mandíbula y el paladar blando. En la base de cada apófisis pterigoides, el **conducto pterigoideo** abre un camino para el paso de un pequeño nervio y una arteria, dirigidos al paladar blando y a sus estructuras adyacentes.

Etmoides [v. figuras 6.3d/6.4/6.5/6.10]

El **etmoides,** o *hueso etmoidal,* es un hueso de forma irregular que participa en las siguientes estructuras: la pared de la órbita (v. figura 6.3d, p. 139), la parte anteromedial del suelo del cráneo (v. figura 6.4, p. 140), el techo de la cavidad nasal y una porción del tabique nasal (v. figura 6.5, p. 141). El etmoides está formado por tres componentes: la *lámina cribosa,* el *laberinto etmoidal* y la *lámina perpendicular* (v. figura 6.10).

La cara superior del etmoides (v. figura 6.10a) contiene la **lámina cribosa,** un área que está perforada por los *agujeros cribosos.* Estos orificios dejan pasar las ramas de los *nervios olfativos,* que se ocupan del sentido del olfato. Un relieve saliente, la **apófisis *crista galli*** (*crista,* cresta + *gallus,* gallina; «cresta del gallo») separa la lámina cribosa en sus lados derecho e izquierdo. La *hoz del cerebro,* una membrana que estabiliza el cerebro en su posición, se inserta en esta cresta ósea.

En el laberinto etmoidal, o masa lateral del etmoides, predominan los **cornetes nasales superiores** o conchas nasales superiores (*concha,* caparazón del caracol) y los **cornetes nasales medios,** y se ve mejor desde las caras anterior y posterior del etmoides (v. figura 6.10b,c). El **laberinto etmoidal** es una red interconectada de celdillas neumáticas etmoidales. Estas se hallan en continuidad con las que existen a lo largo de la porción inferior del hueso frontal. Las celdillas neumáticas etmoidales también desembocan en la cavidad nasal a ambos lados. Sus secreciones mucosas lavan la superficie de estas cavidades.

Los cornetes nasales son como una voluta delgada de hueso que sobresale hacia la cavidad nasal a cada lado de la lámina perpendicular. Estas protuberancias dispersan el aire circulante, al crear remolinos y turbulencias. Este mecanismo ralentiza el movimiento del aire, pero a la vez da un mayor tiempo para calentarlo, humedecerlo y eliminar el polvo antes de que llegue a otras porciones más delicadas de las vías respiratorias.

La **lámina perpendicular** forma parte del *tabique nasal,* una estructura divisoria que también incluye el vómer y un fragmento de cartílago hialino. Los receptores olfativos están situados en el epitelio que recubre las superficies inferiores de la lámina cribosa, la cara medial de los cornetes nasales superiores y la porción superior de la lámina perpendicular.

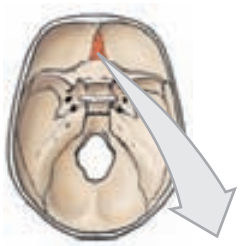
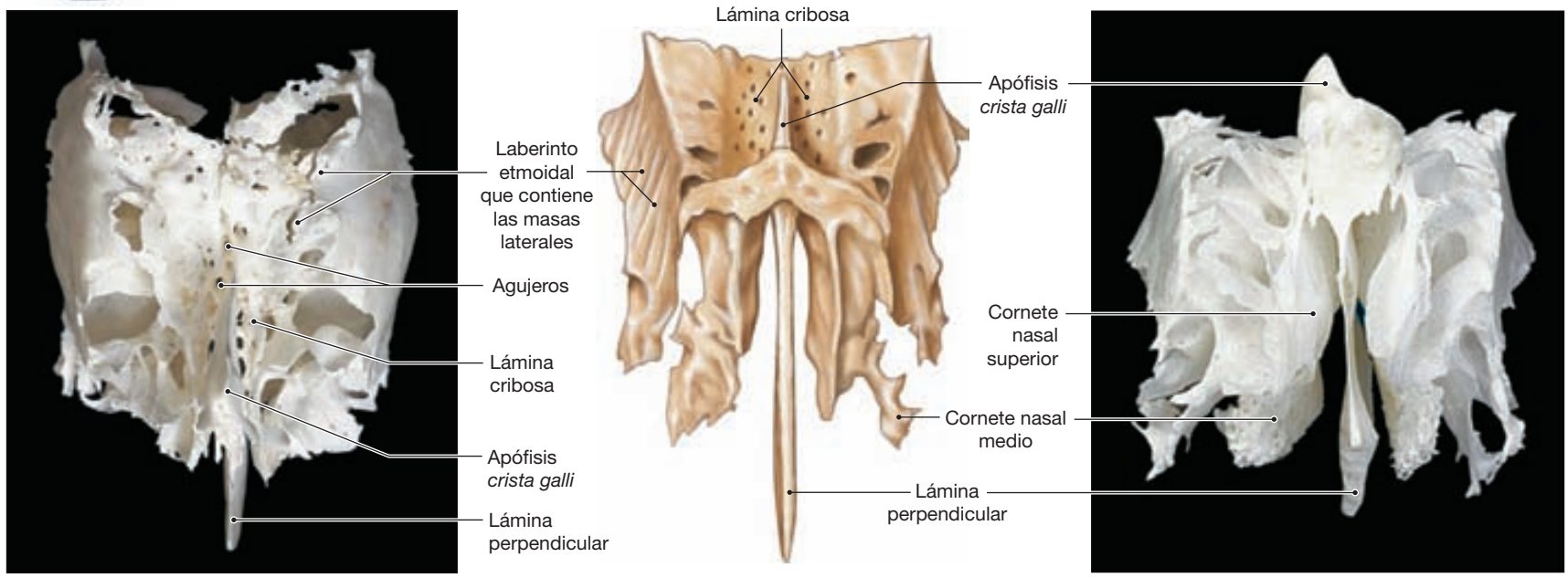


Figura 6.10 Etmoides
Vistas del etmoides que ofrecen los principales detalles anatómicos que presentan sus caras superior **(a)**, anterior **(b)** y posterior **(c)**.



(a) Vista superior **(b) Vista anterior** **(c) Vista posterior**

Fosas craneales [v. figura 6.11]

Los contornos del cráneo siguen fielmente la forma del encéfalo. Si se recorre en un sentido de delante hacia atrás, el suelo del cráneo no es horizontal, sino que desciende en dos tramos (v. figura 6.11a). Visto desde su cara superior (v. figura 6.11b), a cada uno de esos niveles forma una depresión en curva llamada **fosa craneal.** La **fosa craneal anterior** está integrada por el hueso frontal, el etmoides y las alas menores del esfenoides. Este espacio acoge los lóbulos frontales de los hemisferios cerebrales. La **fosa craneal media** se extiende desde el «escalón» correspondiente a las alas menores hasta la porción petrosa del hueso temporal. El hueso esfenoides y los huesos temporales y parietales constituyen esta fosa, que alberga los lóbulos temporales de los hemisferios cerebrales, el *diencéfalo* y la porción anterior del tronco del encéfalo *(mesencéfalo)*. La **fosa craneal posterior** es la más inferior y va desde las porciones petrosas de los huesos temporales hasta la cara posterior del cráneo. Está compuesta básicamente por el hueso occipital, con alguna aportación de los huesos temporales y parietales. La fosa craneal posterior sostiene los lóbulos occipitales de los hemisferios cerebrales, el cerebelo y la parte posterior del tronco del encéfalo *(protuberancia* y *bulbo raquídeo)*.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Las venas yugulares internas son unos vasos sanguíneos importantes para la cabeza. ¿Por qué orificio pasan?
2. ¿Qué hueso contiene la depresión llamada silla turca? ¿Qué estructura está situada en ella?
3. ¿Cuál de los cinco sentidos se vería afectado si no se formara la lámina cribosa del etmoides?
4. Identifique los huesos del cráneo.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Huesos de la cara

Los huesos faciales son los siguientes: una pareja de huesos maxilares, huesos palatinos, huesos nasales, cornetes nasales inferiores, huesos cigomáticos y huesos lagrimales, más el vómer y la mandíbula aislados.

Maxilares [v. figura 6.3d,e/6.12a,b,c/6.15]

Los **maxilares** izquierdo y derecho, o *huesos maxilares,* son los más grandes de la cara, y en conjunto forman el maxilar superior. Se articulan con todos los demás huesos faciales excepto la mandíbula (v. figura 6.3d, p. 138). Su **cara orbitaria** (v. figura 6.12a) ofrece protección al ojo y a otras estructuras de la órbita. La **apófisis frontal** de cada maxilar se articula con el hueso frontal del cráneo y con un hueso nasal. Su borde bucal forma las **apófisis alveolares,** donde están contenidos los dientes superiores. Entre los maxilares y el esfenoides queda la alargada **hendidura esfenomaxilar** dentro de cada órbita (v. figura 6.3d). El **agujero infraorbitario** atraviesa el reborde orbitario y señala el camino de un nervio sensitivo importante que procede de la cara. A lo largo de la órbita, este nervio recorre el **surco infraorbitario** (representado en la figura 6.15) antes de atravesar la fisura orbitaria inferior y el agujero redondo para llegar al tronco del encéfalo.

Los grandes **senos maxilares** resultan evidentes en una vista medial y en un corte horizontal (v. figura 6.12b,c). Son los más grandes del cráneo; aligeran la porción de los maxilares situada por encima de los dientes y producen secreciones mucosas que lavan la superficie inferior de las cavidades nasales. Su vista en un corte también muestra la amplitud de las **apófisis palatinas,** que forman la mayor parte del techo óseo de la boca, o *paladar duro.* La **fosa incisiva** que hay en la parte inferior de la línea media de la apófisis palatina indica la posición que ocupa el orificio de los *conductos incisivos* (v. figura 6.3e), que contienen pequeñas arterias y nervios.

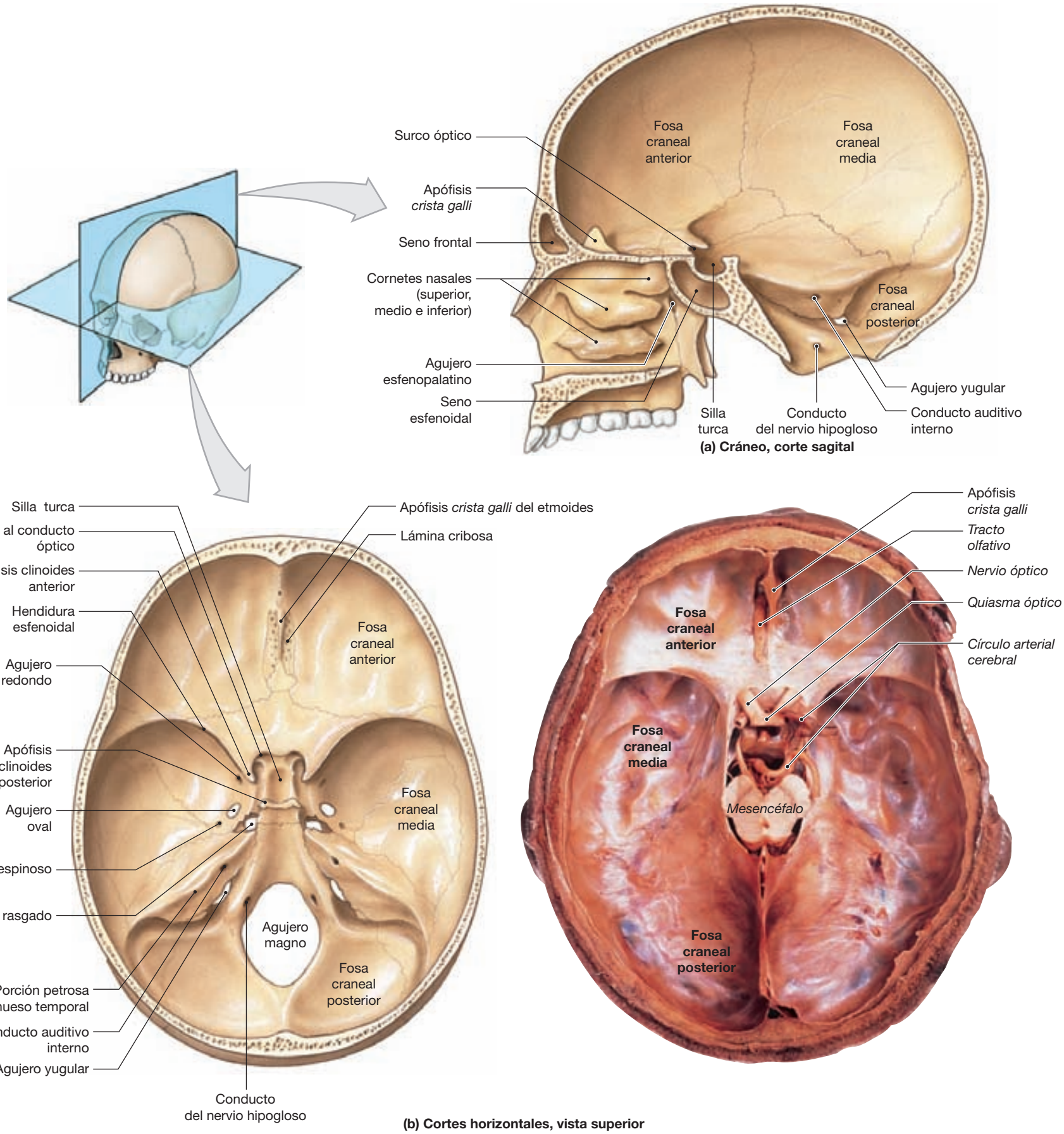
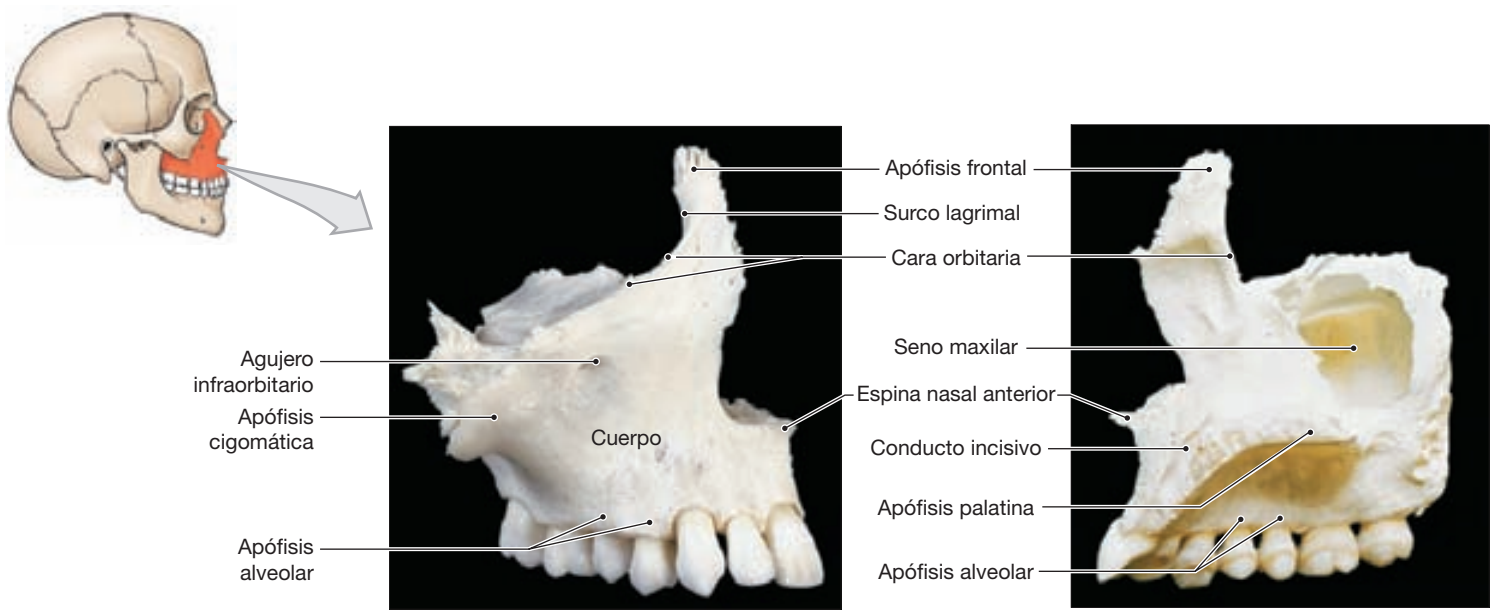


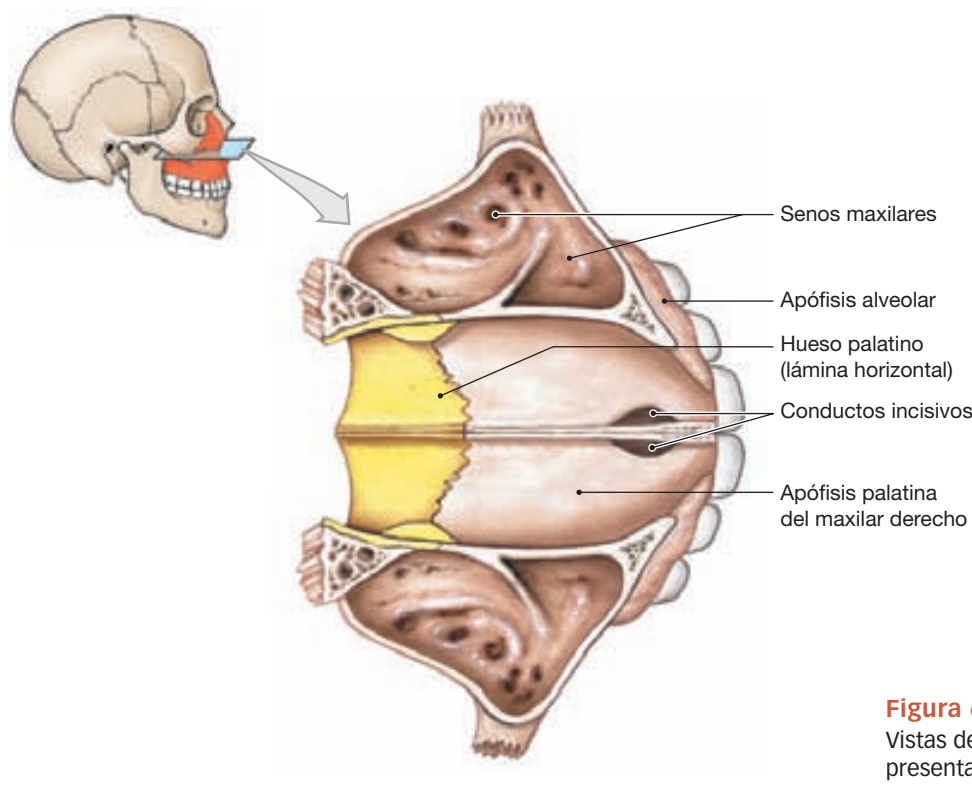
Figura 6.11 Fosas craneales

Las fosas craneales son unas depresiones de forma curvada situadas en el suelo del cráneo. **(a)** Corte sagital a través del cráneo, que ofrece la posición relativa de las fosas craneales. **(b)** Cortes horizontales, vista superior. Se ha retirado la porción superior del encéfalo, pero dejando parte del tronco del encéfalo y los nervios y vasos sanguíneos asociados.



(a) Maxilar derecho, vista lateral

(b) Maxilar derecho, vista medial



(c) Huesos maxilares y palatinos, vista de un corte

Figura 6.12 Maxilares
Vistas del maxilar derecho que ofrecen los principales detalles anatómicos que presentan sus caras anterior y lateral **(a)** y medial **(b)**. **(c)** Vista superior de un corte horizontal a través de ambos maxilares, que muestra la orientación de los senos maxilares y la estructura del paladar duro.

Huesos palatinos [v. figuras 6.3e/6.12c/6.13/6.15]

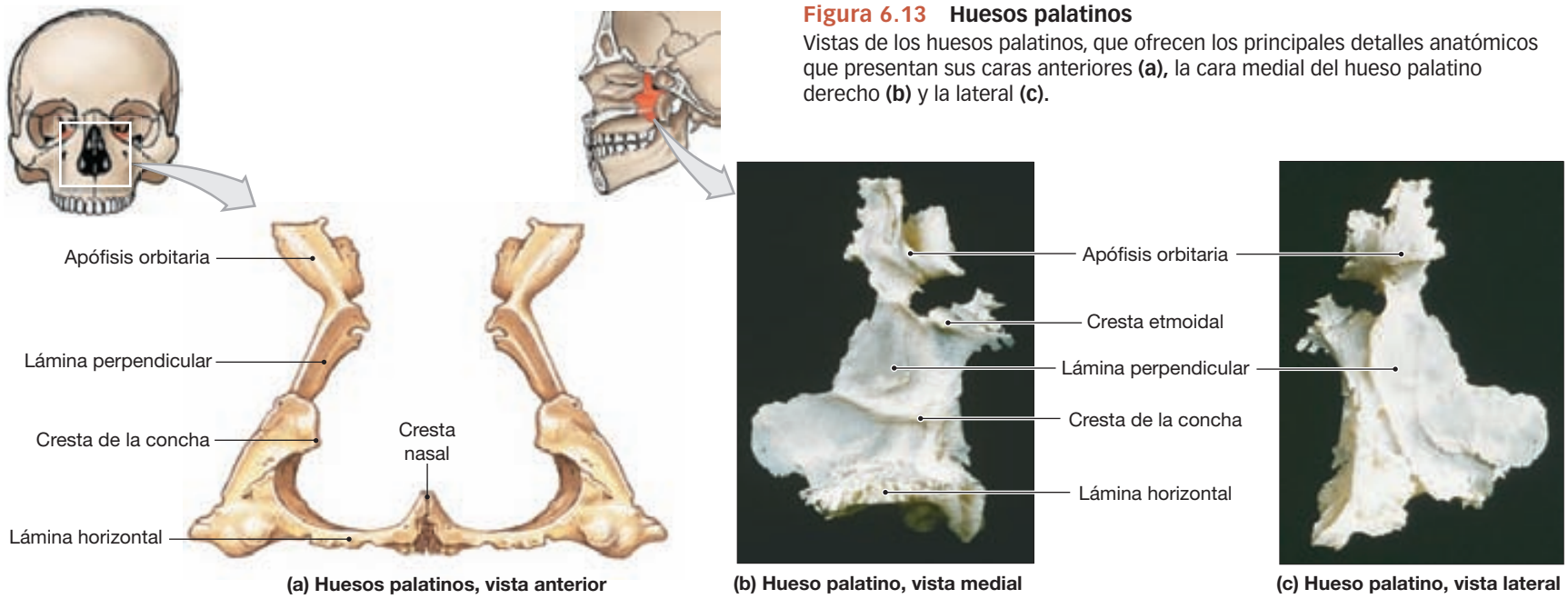
Los **huesos palatinos** son pequeños huesos en forma de «L» (**v. figura 6.13**). Su *lámina horizontal* se articula con el maxilar para configurar la porción posterior del paladar duro (**v. figura 6.12c**). Sobre su superficie inferior, el *surco palatino mayor* queda entre el hueso palatino y el maxilar de cada lado (**v. figura 6.3e**, p. 139). En la cara inferior también suele haber un *agujero palatino menor* o varios. La *cresta nasal,* un relieve creado después de unirse los huesos palatinos izquierdo y derecho, señala su articulación con el vómer. La porción vertical de la «L» está constituida por la *lámina perpendicular* del hueso palatino. Esta parte se articula con los maxilares, el esfenoides y el etmoides, y también con el cornete nasal inferior. Su superficie medial presenta dos elevaciones: 1) la *cresta de la concha,* que marca la articulación con el cornete nasal inferior, y 2) la *cresta etmoidal,* que hace lo mismo con el cornete nasal medio del etmoides. La *apófisis orbitaria,* que sale desde la lámina perpendicular, forma una pequeña porción de la parte posterior del suelo de la órbita (**v. figura 6.15**).

Huesos nasales [v. figuras 6.3c,d/6.15]

Los dos **huesos nasales** se articulan con el hueso frontal en la línea media de la cara mediante la *sutura frontonasal* (**v. figura 6.3c,d**). Los cartílagos fijados a su borde inferior dan soporte a la porción flexible de la nariz, que llega hasta las **narinas,** u orificios nasales. Por su límite lateral, cada hueso nasal se articula con la apófisis frontal de un maxilar (**v. figuras 6.3c** y **6.15**).

Cornetes nasales inferiores [v. figuras 6.3d/6.16]

Los **cornetes nasales inferiores** son dos huesos en forma de voluta parecidos a los cornetes superior y medio del etmoides. Hay uno a cada lado del



(a) Huesos palatinos, vista anterior (b) Hueso palatino, vista medial (c) Hueso palatino, vista lateral

Figura 6.13 Huesos palatinos
Vistas de los huesos palatinos, que ofrecen los principales detalles anatómicos que presentan sus caras anteriores **(a),** la cara medial del hueso palatino derecho **(b)** y la lateral **(c).**

tabique nasal y están unidos a la pared lateral de la cavidad nasal (**v. figuras 6.3d**, p. 138, y **6.16**). Cumplen las mismas funciones que los cornetes del etmoides.

Huesos cigomáticos [v. figuras 6.3c,d/6.15]

Tal como se ha apuntado antes, la apófisis temporal del **hueso cigomático** se articula con la apófisis cigomática del hueso temporal para formar el arco cigomático (**v. figura 6.3c,d**). En la cara anterior de cada hueso cigomático hay un **agujero cigomaticofacial** que transporta un nervio sensitivo para la mejilla. El hueso cigomático también forma el reborde lateral de la órbita (**v. figura 6.15**) y participa en la pared orbitaria inferior.

Huesos lagrimales [v. figuras 6.3c,d/6.15]

Los dos **huesos lagrimales** *(lacrima,* lágrima) son los más pequeños del cráneo. Están situados en la porción medial de cada órbita, donde se articulan con el hueso frontal, el maxilar y el etmoides (**v. figuras 6.3c,d** y **6.15**). Una depresión poco profunda, el **surco lagrimal,** conduce hasta una estrecha vía de paso, el **conducto nasolagrimal,** formado por el hueso lagrimal y el maxilar. Este canal encierra el conducto lagrimal a su paso hacia la cavidad nasal.

Vómer [v. figuras 6.3d,e/6.5]

El **vómer** forma la porción inferior del tabique nasal **(v. figura 6.5**, p. 141). Tiene su base en el suelo de la cavidad nasal y se articula con los dos maxilares y con los dos huesos palatinos a lo largo de la línea media. Su porción vertical es delgada. La cara superior forma una curva y se articula con el esfenoides y la lámina perpendicular del etmoides para constituir el **tabique nasal** óseo, que divide las cavidades nasales derecha e izquierda (**v. figura 6.3d,e**). Por su parte anterior, el vómer sostiene la prolongación cartilaginosa del tabique nasal, que se continúa con la porción carnosa de la nariz y separa las narinas.

Mandíbula [v. figuras 6.3c,d/6.14]

La **mandíbula** forma todo el maxilar inferior (**v. figuras 6.3c,d**, pp. 137-138, y **6.14**). Este hueso puede subdividirse en un **cuerpo** horizontal y una **rama ascendente de la mandíbula** *(ramus,* rama). Los dientes están apoyados sobre el cuerpo de la mandíbula. Cada rama confluye con el cuerpo en el **ángulo de la mandíbula.** Las **apófisis condíleas** llegan hasta la superficie articular lisa de la *cabeza* de la mandíbula. Esta se articula con las fosas mandibulares del hueso temporal en la *articulación temporomandibular (ATM).* Se trata de una articulación bastante móvil, tal como lo demuestran los desplazamientos de la mandíbula al masticar o al hablar. El inconveniente de este grado de movilidad estriba en que la mandíbula puede luxarse con facilidad ante cualquier movimiento enérgico suyo en sentido anterior o lateral.

A nivel de las **apófisis coronoides,** el *músculo temporal* se inserta en la mandíbula. Se trata de uno de los músculos más potentes que intervienen en el cierre de la boca. Por delante, los **agujeros mentonianos** *(mentalis,* mentón) atraviesan el cuerpo a cada lado de la barbilla. Por ellos circulan unos nervios que llevan hacia el encéfalo información sensitiva procedente de los labios y del mentón. La **escotadura mandibular** es la depresión que queda entre las apófisis condíleas y coronoides.

La **porción alveolar** de la mandíbula constituye una zona gruesa que contiene los alvéolos y las raíces de los dientes (**v. figura 6.14b**). La **línea milohioidea** se encuentra en la superficie medial del cuerpo de la mandíbula. Su trayecto marca el origen del *músculo milohioideo,* que sustenta el suelo de la boca y la lengua. La *glándula salival submandibular* está enclavada en la **fosa submandibular,** depresión situada en una zona inferior a la línea milohioidea. Cerca del extremo posterior y superior de esta última, el **agujero mandibular** es un orificio llamativo que conduce hacia el **conducto mandibular,** la vía de paso que siguen los vasos sanguíneos y los nervios encargados de los dientes inferiores. El nervio que toma este camino transporta información sensitiva procedente de los dientes y de las encías; los dentistas lo anestesian específicamente antes de actuar sobre los dientes inferiores.

Complejo orbitario y macizo nasal

Varios de los huesos faciales se articulan con los huesos del cráneo para formar el *complejo orbitario* que rodea a cada ojo y el *macizo nasal* que rodea a las cavidades nasales.

Complejo orbitario [v. figura 6.15]

Las **órbitas** son las cavidades óseas que encierran y protegen los ojos. Aparte de ellos, cada una también contiene una glándula lagrimal, tejido adiposo, los músculos que mueven los ojos, vasos sanguíneos y nervios. Siete huesos encajan entre sí para generar el **complejo orbitario** que configura cada órbita (**v. figura 6.15**). El hueso frontal forma el techo y el maxilar la mayor parte del suelo orbitario. Si se sigue en un sentido desde la zona medial hacia la lateral, la superficie de la órbita y la primera porción de su pared

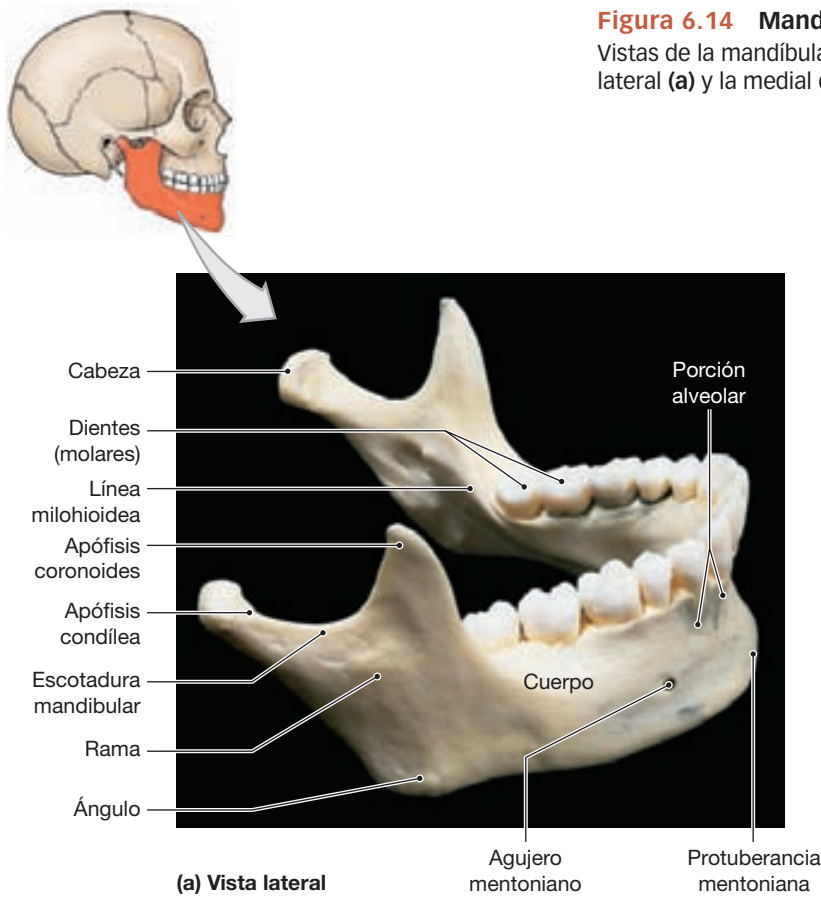


Figura 6.14 Mandíbula
Vistas de la mandíbula que ofrecen los principales detalles anatómicos que presentan sus caras superior y lateral **(a)** y la medial de su mitad derecha **(b)**.

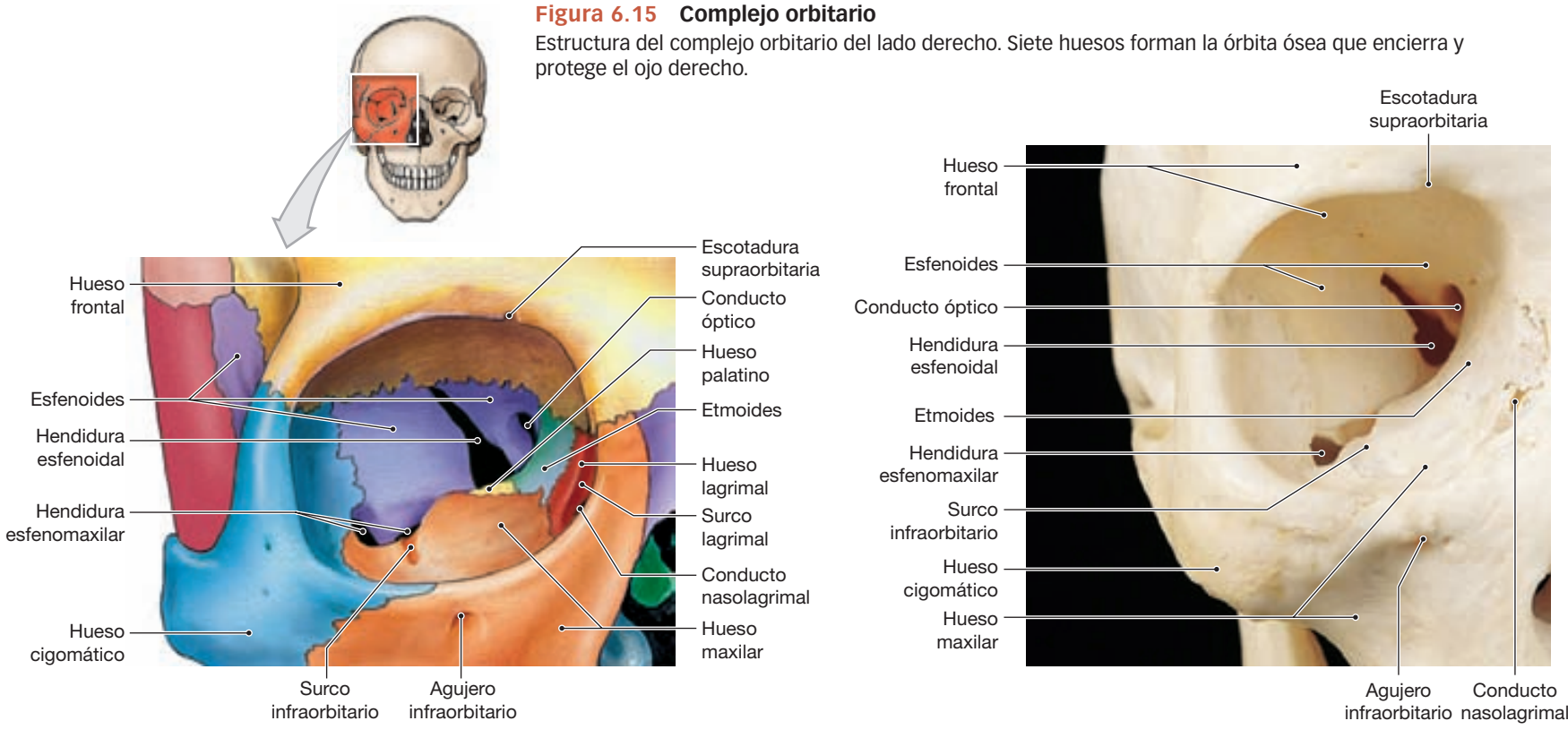


Figura 6.15 Complejo orbitario
Estructura del complejo orbitario del lado derecho. Siete huesos forman la órbita ósea que encierra y protege el ojo derecho.

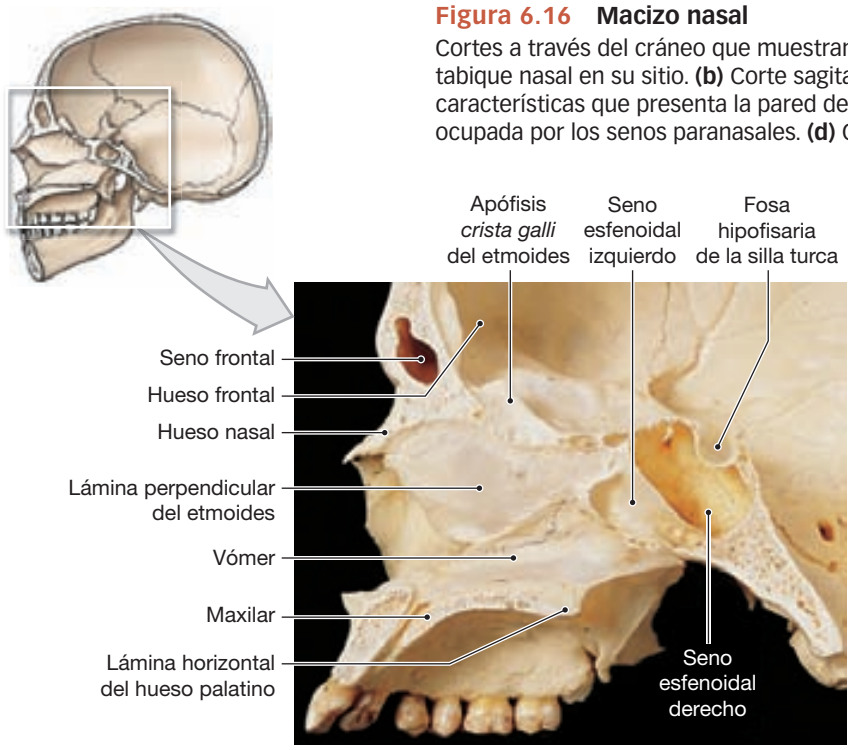
están constituidas por el maxilar, el hueso lagrimal y la masa lateral del etmoides, que se articulan con el esfenoides y una pequeña apófisis del hueso palatino. Al esfenoides le corresponde la mayor parte de la pared orbitaria posterior. Varios agujeros y fisuras claramente visibles atraviesan el esfenoides o quedan entre él y el maxilar. En la zona lateral, el esfenoides y el maxilar se articulan con el hueso cigomático, que forma parte de la pared lateral y el reborde de la órbita.

Macizo nasal [v. figuras 6.5/6.16]

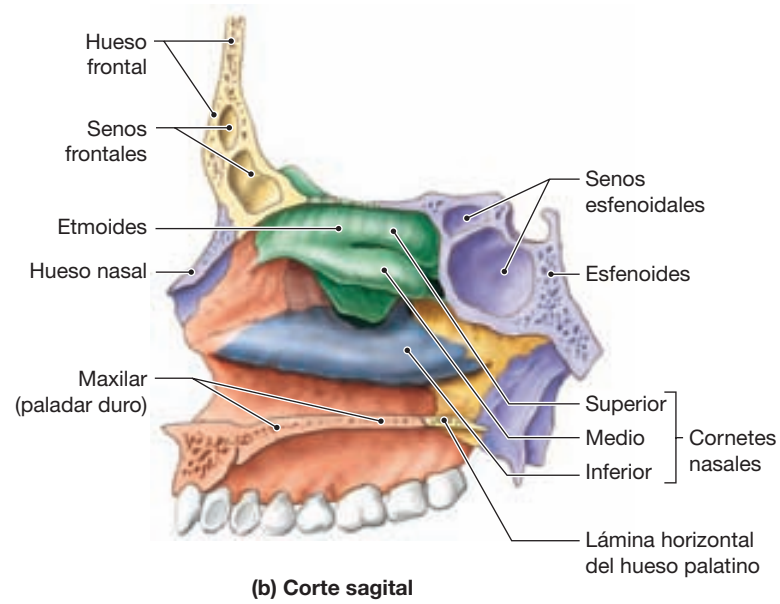
El **macizo nasal** (v. figura 6.16) comprende los huesos y cartílagos que encierran las cavidades nasales, más los *senos paranasales,* unos espacios aéreos comunicados con ellas. El hueso frontal, el esfenoides y el etmoides forman la pared superior de las cavidades nasales. La lámina perpendicular del etmoides y el vómer constituyen la porción ósea del tabique nasal (v. figuras 6.5, p. 141, y 6.16a). Sus paredes laterales están primordialmente constituidas por los maxi-

Figura 6.16 Macizo nasal

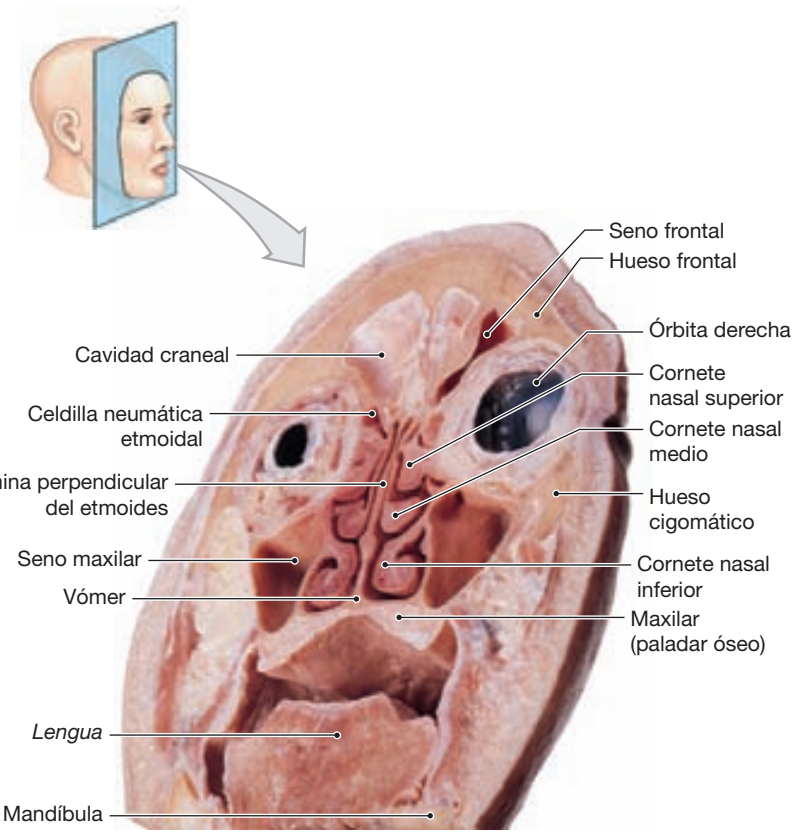
Cortes a través del cráneo que muestran las relaciones entre los huesos del macizo nasal. **(a)** Corte sagital dejando el tabique nasal en su sitio. **(b)** Corte sagital esquemático tras retirar el tabique nasal, para poner de manifiesto las principales características que presenta la pared de la cavidad nasal derecha. **(c)** Corte coronal de la cabeza que ofrece la posición ocupada por los senos paranasales. **(d)** Corte frontal esquemático que recoge la posición de los senos paranasales.



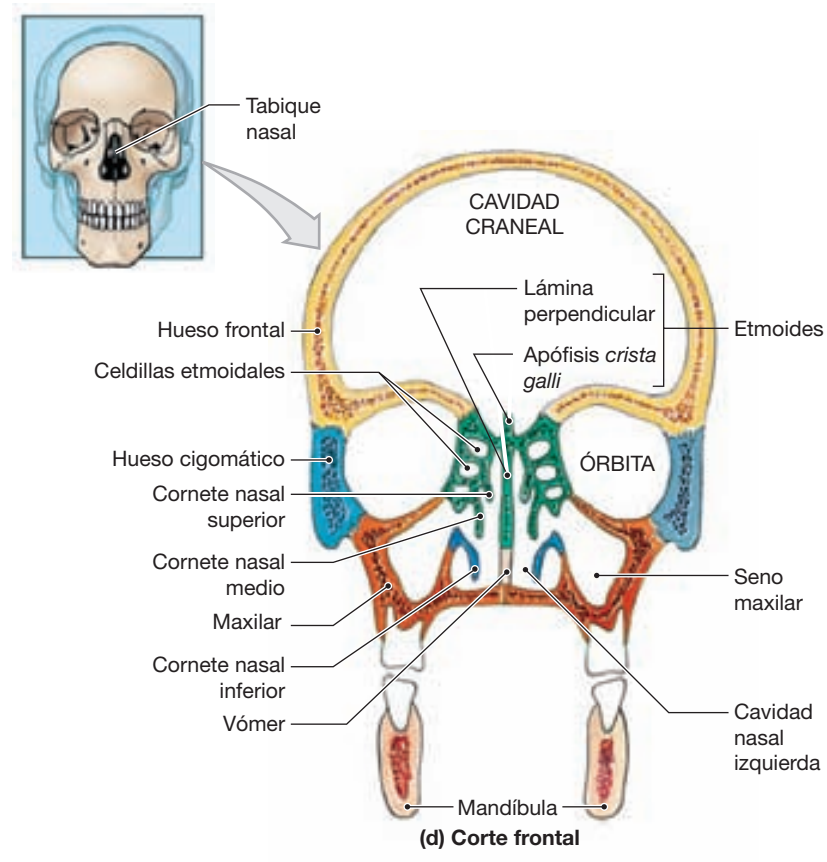
(a) Corte sagital



(b) Corte sagital



(c) Cabeza, corte coronal



(d) Corte frontal

lares, los huesos lagrimales, el etmoides y los cornetes nasales inferiores (**v. figura 6.16b-d**). El puente de la nariz aparece sustentado por los maxilares y los huesos nasales. Los tejidos blandos envuelven la prolongación anterior de las cavidades nasales. Estas se encuentran sostenidas por la continuación cartilaginosa del puente de la nariz y del tabique nasal.

Senos paranasales [v. figura 6.16] El hueso frontal, el esfenoides, el etmoides y el maxilar contienen **senos paranasales,** unas cavidades llenas de aire que actúan como una prolongación de las cavidades nasales y desembocan en ella. La **figura 6.16** muestra la localización de los **senos frontales** y **esfenoidales.** Las **celdillas neumáticas etmoidales** (o *senos etmoidales*) y los **senos maxilares** están representados en la **figura 6.1c,d**. Estos senos descargan de peso a los huesos del cráneo, producen moco y generan una resonancia durante la producción del sonido. Las secreciones mucosas se emiten hacia las cavidades nasales y el epitelio ciliado desplaza el moco hacia la garganta, donde acaba por tragarse. El aire que llega se humedece y se calienta a medida que pasa a través

Nota clínica

Problemas con los senos La mucosa de los senos paranasales responde a cualquier agresión ambiental acelerando la producción de moco. El moco lava los irritantes presentes en las paredes de las cavidades nasales. Este efecto lo produce toda una diversidad de estímulos, como los cambios bruscos de temperatura o de humedad, los vapores molestos y las infecciones bacterianas o víricas. La acción de arrastre suele lograr la eliminación de los irritantes suaves, pero las infecciones víricas o bacterianas producen una inflamación de la mucosa que recubre la cavidad nasal. Al hincharse, las vías de comunicación se estrechan. El drenaje del moco se ralentiza, aumenta la congestión y la víctima experimenta cefaleas y una sensación de presión dentro de los huesos faciales. Esta situación de inflamación sinusal y congestión se denomina *sinusitis.* Los senos maxilares participan a menudo en el proceso, porque la gravedad sirve de poco como medio para su drenaje.

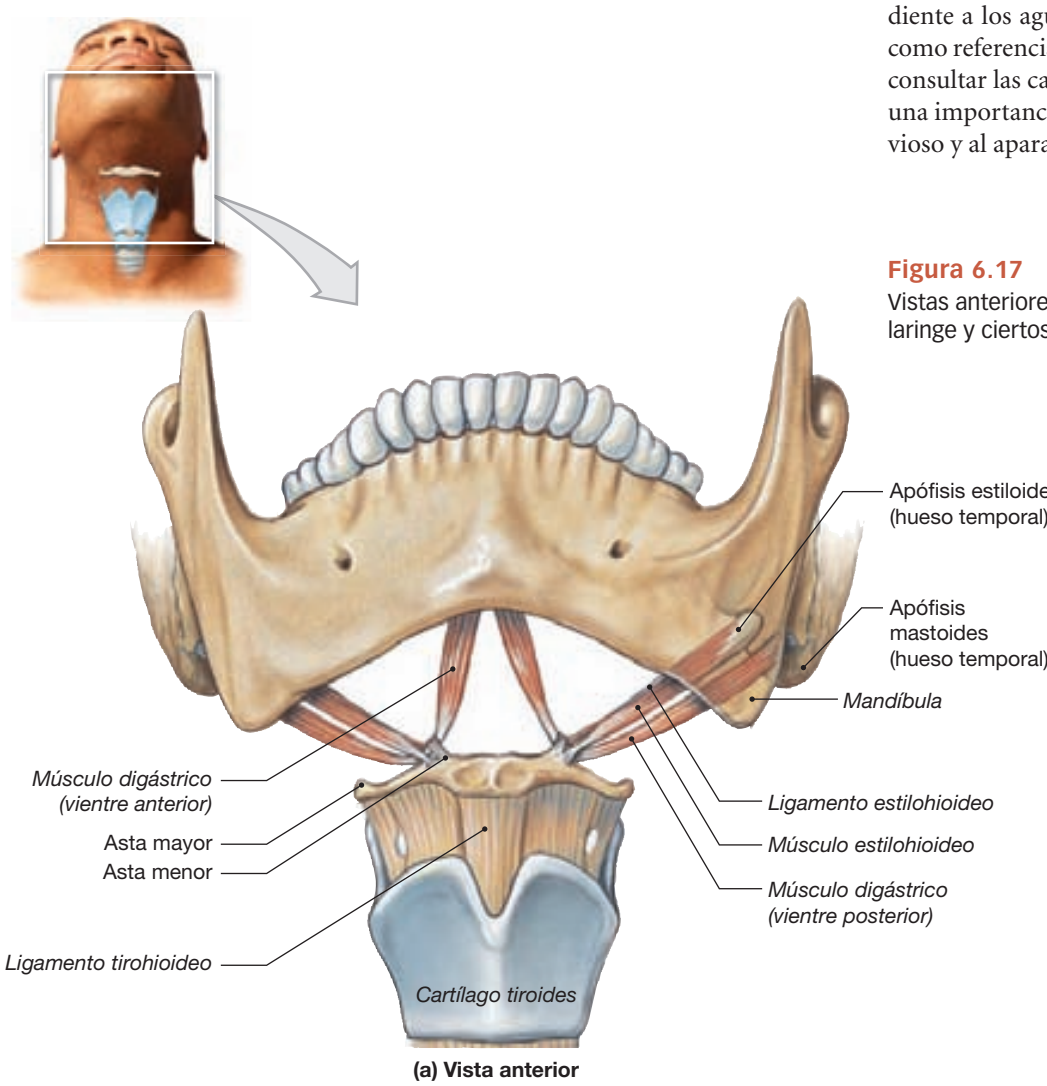
Otros problemas pasajeros relacionados con los senos pueden acompañar a las alergias o a la exposición del epitelio mucoso a irritantes químicos o microorganismos invasores. La sinusitis crónica es una posible complicación como consecuencia de una *desviación del tabique* (nasal). En esta afección, el tabique nasal está torcido, en especial a nivel de la unión entre sus regiones ósea y cartilaginosa. Las desviaciones del tabique suelen impedir el drenaje de un seno o de varios, lo que produce ciclos crónicos de infección e inflamación. Su presencia puede obedecer a alteraciones del desarrollo o a lesiones de la nariz, y normalmente la situación se corrige o mejora con la cirugía.

de la alfombra que constituye. Las partículas de cualquier sustancia extraña, como el polvo y los microorganismos, quedan atrapadas en este moco pegajoso y a continuación se degluten. Dicho mecanismo sirve para proteger las delicadas superficies de intercambio que ocupan las frágiles porciones de tejido pulmonar pertenecientes al aparato respiratorio.

Hueso hioides [v. figura 6.17]

El **hueso hioides** ocupa un lugar inferior al cráneo, suspendido por los **ligamentos estilohioideos,** pero sin entrar en contacto directo con ningún otro hueso del esqueleto (v. figura 6.17). El cuerpo del hioides sirve de base a varios músculos que tienen que ver con los movimientos de la lengua y de la laringe. Como son músculos y ligamentos los que forman las únicas conexiones entre el hioides y otras estructuras óseas, todo el complejo resulta bastante móvil. Sus apófisis más grandes son las **astas mayores,** que sirven para sostener la laringe y prestan su base a los músculos encargados de la lengua. Las **astas menores** están unidas a los ligamentos estilohioideos, de los que el hioides y la laringe cuelgan bajo el cráneo, como un columpio de la rama de un árbol.

Muchas protuberancias y crestas superficiales pertenecientes al esqueleto de la cabeza y el tronco están asociadas a los músculos estriados descritos en el capítulo 10; conviene aprender ahora sus nombres para poder organizar los datos en ese capítulo. Las tablas 6.1 y 6.2 resumen la información correspondiente a los agujeros y las fisuras presentados hasta ahora. Utilice la tabla 6.1 como referencia para los agujeros y las hendiduras del cráneo, y la tabla 6.2 para consultar las características de su superficie y sus agujeros. Estos datos tendrán una importancia especial en los capítulos posteriores dedicados al sistema nervioso y al aparato cardiovascular.



(a) Vista anterior **(b) Hueso hioides, vista anterosuperior**

Figura 6.17 Hueso hioides
Vistas anteriores que ofrecen **(a)** la relación del hueso hioides con el cráneo, la laringe y ciertos músculos estriados; **(b)** el hueso hioides aislado.

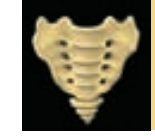


TABLA 6.1 Explicación sobre los agujeros y las fisuras del cráneo

		Principales estructuras que utilizan esta vía de conducción	
Hueso	**Agujero/hendidura**	**Tejido nervioso**	**Vasos y otras estructuras**
HUESO OCCIPITAL	Agujero magno	Bulbo raquídeo (última porción del encéfalo) y nervio accesorio (XI), que controla varios músculos de la espalda, la faringe y la laringe*	Arterias vertebrales dirigidas al encéfalo y membranas de sostén que rodean el SNC
	Conducto del nervio hipogloso	Nervio hipogloso (XII), que ejerce el control motor sobre los músculos de la lengua	
Con el hueso temporal	Agujero yugular	Nervio glosofaríngeo (IX), nervio vago (X), nervio accesorio (XI). El nervio IX aporta la sensibilidad gustativa; X es importante para las funciones viscerales; XI inerva destacados músculos de la espalda y del cuello	Vena yugular interna; vaso primordial que devuelve al corazón la sangre del encéfalo
HUESO FRONTAL	Agujero (o escotadura) supraorbitario	Nervio supraorbitario, rama sensitiva del nervio oftálmico, que inerva la ceja, el párpado y el seno frontal	Arteria supraorbitaria, que lleva sangre a la misma región
HUESO TEMPORAL	Agujero mastoideo		Vasos para las membranas que rodean el SNC
	Agujero estilomastoideo	Nervio facial (VII), que ejerce el control motor sobre los músculos faciales	
	Conducto carotídeo		Arteria carótida interna; principal riego arterial del encéfalo
	Conducto auditivo externo		Aire que transmite los sonidos hasta la membrana del tímpano
	Conducto auditivo interno	Nervio vestibulococlear (VIII) de los órganos de los sentidos para el oído y el equilibrio. El nervio facial (VII) entra por aquí, y sale por el agujero estilomastoideo	Arteria laberíntica para el oído interno
ESFENOIDES	Conducto óptico	Nervio óptico (II), que lleva información desde el ojo hasta el encéfalo	Arteria oftálmica, que lleva sangre hacia la órbita
	Hendidura esfenoidal	Nervio oculomotor (III), nervio troclear (IV), rama oftálmica del nervio trigémino (V), nervio *abducens* (VI). El nervio oftálmico proporciona información sensitiva sobre el ojo y sobre la órbita; los demás nervios controlan los músculos que mueven el ojo	Vena oftálmica, que devuelve sangre desde la órbita
	Agujero redondo	Rama maxilar del nervio trigémino (V), que aporta la sensibilidad de la cara	
	Agujero oval	Rama mandibular del nervio trigémino (V), que controla los músculos encargados de mover la mandíbula y aporta información sensitiva de esa región	
Con los huesos temporal y occipital	Agujero espinoso		Vasos para las membranas que rodean el SNC
	Agujero rasgado		La arteria carótida interna, al salir del conducto carotídeo, recorre el borde superior del agujero rasgado
Con el maxilar	Hendidura esfenomaxilar	Rama maxilar del nervio trigémino (V). *Véase Agujero redondo* en el esfenoides	
ETMOIDES	Agujeros cribosos	Nervio olfativo (I), que se encarga del sentido del olfato	
MAXILAR	Agujero infraorbitario	Nervio infraorbitario, rama maxilar del nervio trigémino (V), que va desde la fisura orbitaria inferior hacia la cara	Arteria infraorbitaria, con la misma distribución
	Conductos incisivos	Nervio nasopalatino	Arterias pequeñas para la superficie del paladar
HUESO CIGOMÁTICO	Agujero cigomaticofacial	Nervio cigomaticofacial, rama sensitiva del nervio maxilar para la mejilla	
HUESO LAGRIMAL	Surco lagrimal, conducto nasolagrimal (con el maxilar)		Conducto lagrimal, que desemboca en la cavidad nasal
MANDÍBULA	Agujero mentoniano	Nervio mentoniano, rama nerviosa sensitiva del nervio mandibular, que aporta la sensibilidad de la barbilla y el labio inferior	Vasos mentonianos para la barbilla y el labio inferior
	Agujero mandibular	Nervio alveolar inferior, rama sensitiva del nervio mandibular, que aporta la sensibilidad de las encías y los dientes	Vasos alveolares inferiores, que irrigan la misma región

*Empleamos la definición clásica de los nervios craneales según la estructura anatómica del nervio al abandonar el tronco del encéfalo.

Nota clínica

Problemas de crecimiento del cráneo El crecimiento del cráneo es un mecanismo coordinado con la expansión del encéfalo. Las deformaciones del cráneo derivan de una fusión prematura en las suturas frontales o en otras; este proceso se llama **craneoestenosis** (*stenosis,* estrechamiento). El encéfalo sigue aumentando de tamaño y debe alojarse en el resto del cráneo. El resultado del cierre temprano de la sutura sagital es una cabeza larga y estrecha. Esta será muy ancha si la sutura coronal se fusiona antes de tiempo. El cierre de las suturas craneales restringe el desarrollo del encéfalo y obliga a operar para evitar una lesión cerebral. Si el crecimiento del encéfalo se detiene por una alteración genética o del desarrollo, también cesa el crecimiento del cráneo. Esta situación (una cabeza mucho más pequeña de lo normal) se llama **microcefalia.**

TABLA 6.2 Rasgos superficiales del cráneo

			Rasgos superficiales			
Región	**Hueso**	**Articulación con**	**Estructuras**	**Funciones**	**Agujeros**	**Funciones**
CRÁNEO (8)	**Hueso occipital (1)** *(v. figura 6.6)*	Hueso parietal, hueso temporal, esfenoides	**Externas:** Cóndilos occipitales	Articulación con la primera vértebra cervical	Agujero yugular (con el temporal)	Transporte de sangre procedente de venas más pequeñas en la cavidad craneal
			Cresta occipital externa, protuberancia occipital externa y líneas nucales superior e inferior	Inserción de los músculos y ligamentos que mueven la cabeza y estabilizan la articulación atlantooccipital	Conducto del nervio hipogloso	Vía de paso para el nervio hipogloso, que controla los músculos de la lengua
			Internas: Cresta occipital interna	Fijación de las membranas que estabilizan el encéfalo en su posición		
	Huesos parietales (2) *(v. figura 6.6)*	Huesos occipital, frontal, temporales, esfenoides	**Externas:** Líneas temporales superior e inferior	Inserción de los principales músculos que cierran la mandíbula		
			Eminencia parietal	Fijación del cuero cabelludo al cráneo		
	Hueso frontal (1) *(v. figura 6.7)*	Huesos parietales, nasales, cigomáticos, esfenoides, etmoides, maxilares	Sutura frontal	Señal de la fusión entre los huesos frontales durante el desarrollo	Agujeros supraorbitarios	Vías de paso hacia la ceja y el párpado para la rama sensitiva del nervio oftálmico y la arteria supraorbitaria
			Porción escamosa	Inserción de los músculos del cuero cabelludo		
			Borde supraorbitario	Protección del ojo		
			Fosas lagrimales	Huecos que contienen las glándulas lagrimales		
			Senos frontales	Disminución de peso y producción de secreciones mucosas		
			Cresta frontal	Fijación de las membranas estabilizadoras (meninges) dentro del cráneo		
	Huesos temporales (2) *(v. figura 6.8)*	Huesos occipital, parietales, frontal, cigomáticos, esfenoides y mandíbula; encierra los huesecillos del oído y mantiene suspendido el hueso hioides por los ligamentos estilohioideos	**Externas:** *Porción escamosa:* Escama	Inserción de los músculos de la mandíbula	**Externos:** Conducto carotídeo	Vía de entrada para la arteria carótida que lleva sangre hacia el encéfalo
			Fosa mandibular y tubérculo articular	Articulación con la mandíbula	Agujero estilomastoideo	Salida del nervio que controla los músculos faciales
			Apófisis cigomática	Articulación con el hueso cigomático	Agujero yugular (con el hueso occipital)	Transporte de sangre procedente de venas más pequeñas en la cavidad craneal
			Porción petrosa: Apófisis mastoides	Inserción de los músculos que extienden o rotan la cabeza	Conducto auditivo externo	Entrada y paso hacia el tímpano
			Apófisis estiloides	Inserción del ligamento estilohioideo y los músculos que se fijan en el hueso hioides	Agujero mastoideo	Paso de los vasos sanguíneos para las membranas del encéfalo
			Internas: Celdillas neumáticas mastoideas	Disminución de peso de la apófisis mastoides	**Externos:** Agujero rasgado entre los huesos temporal y occipital	Cartílago y pequeñas arterias para la superficie interna del cráneo
			Porción petrosa	Protección del oído medio e interno	**Internos:** Trompa auditiva	Conexión entre el espacio aéreo del oído medio y la faringe
					Conducto auditivo interno	Paso de los vasos sanguíneos y los nervios para el oído interno y el agujero estilomastoideo

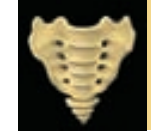


TABLA 6.2 Rasgos superficiales del cráneo *(cont.)*

			Rasgos superficiales			
Región	**Hueso**	**Articulación con**	**Estructuras**	**Funciones**	**Agujeros**	**Funciones**
	Esfenoides (1) *(v. figura 6.9)*	Huesos occipital, frontal, temporales, cigomáticos, palatinos, maxilares, etmoides y vómer	**Internas:** Silla turca	Protección de la hipófisis	Conducto óptico	Paso del nervio óptico
			Apófisis clinoides anteriores y posteriores, surco óptico	Protección de la hipófisis y el nervio óptico	Fisura orbitaria superior	Entrada de los nervios que controlan los movimientos oculares
			Externas: Apófisis pterigoides y espinas	Inserción de los músculos de la mandíbula	Agujero redondo	Paso de los nervios sensitivos procedentes de la cara
					Agujero oval	Paso de los nervios que controlan el movimiento de la mandíbula
					Agujero espinoso	Paso de los vasos dirigidos hacia las membranas que rodean al encéfalo
	Etmoides (1) *(v. figura 6.10)*	Huesos frontal, nasales, palatinos, lagrimales, esfenoides, maxilares y vómer	Apófisis *crista galli*	Fijación de las membranas que estabilizan el encéfalo en su posición	Agujeros cribosos	Paso de los nervios olfativos
			Laberinto etmoidal	Disminución del peso del hueso y zona de producción de moco		
			Cornetes superior y medio	Generación de turbulencias en el aire circulante		
			Lámina perpendicular	Separación de las cavidades nasales (con el vómer y el cartílago nasal)		
CARA (14)	**Maxilares (2)** *(v. figura 6.12)*	Huesos frontal, cigomáticos, palatinos, lagrimales, esfenoides, etmoides y cornetes nasales inferiores	Borde orbitario	Protección del ojo	Fisura orbitaria inferior y agujero infraorbitario	Salida de los nervios que penetran en el cráneo por el agujero redondo
			Apófisis palatina	Formación de la mayor parte del paladar óseo	Agujeros palatinos mayor y menor	Paso de nervios sensitivos procedentes de la cara
			Seno maxilar	Disminución del peso del hueso, secreción de moco	Conducto nasolagrimal (con el hueso lagrimal)	Drenaje de las lágrimas desde el saco lagrimal hasta la cavidad nasal
			Apófisis alveolar	Paredes alrededor de las articulaciones con los dientes		
	Huesos palatinos (2) *(v. figura 6.13)*	Huesos esfenoides, maxilares y vómer		Formación del paladar óseo y la órbita		
	Huesos nasales (2) *(v. figuras 6.3c,d; 6.15)*	Huesos frontal, etmoides y maxilares		Apoyo para el puente de la nariz		
	Vómer (1) *(v. figuras 6.3d,e; 6.5; 6.16)*	Huesos etmoides, maxilares y palatinos		Formación de la parte inferior y posterior del tabique nasal		
	Cornetes nasales inferiores (2) *(v. figuras 6.3d; 6.16)*	Huesos maxilares y palatinos		Creación de turbulencias en el aire circulante		
	Huesos cigomáticos (2) *(v. figuras 6.3c,d; 6.15)*	Huesos frontal, temporales, esfenoides y maxilares	Apófisis temporal	Con la apófisis cigomática del temporal, formación del arco cigomático para la inserción de los músculos de la mandíbula		
	Huesos lagrimales (2) *(v. figuras 6.3c,d; 6.15)*	Huesos etmoides, frontal, maxilares y cornetes nasales inferiores			Surco nasolagrimal	Espacio para alojar el saco lagrimal

(Continúa)

TABLA 6.2 Rasgos superficiales del cráneo *(cont.)*

Región	Hueso	Articulación con	Rasgos superficiales			
			Estructuras	Funciones	Agujeros	Funciones
	Mandíbula (1) *(v. figura 6.14)*	Huesos temporales	Rama		Agujero mandibular	Paso de los nervios sensitivos procedentes de los dientes y de las encías
			Apófisis condílea	Articulación con el hueso temporal	Agujero mentoniano	Paso de los nervios sensitivos procedentes de la barbilla y de los labios
			Apófisis coronoides	Inserción del músculo temporal procedente de la superficie del parietal	Agujero mandibular	Paso de los nervios sensitivos procedentes de los dientes y de las encías
			Porción alveolar	Protección de las articulaciones con los dientes		
			Línea milohioidea	Inserción del músculo que sostiene el suelo de la boca		
			Fosa submandibular	Protección de la glándula salival submandibular		
HUESOS ASOCIADOS (7)	**Hueso hioides (1)** *(v. figura 6.17)*	Suspendido por ligamentos de la apófisis estiloides del hueso temporal; conectado por ligamentos con la laringe	Astas mayores	Inserción de los músculos de la lengua y los ligamentos para la laringe		
			Astas menores	Fijación de los ligamentos estilohioideos		
	Huesecillos del oído (6)	Hay tres encerrados en la porción petrosa de cada hueso temporal		Conducción de las vibraciones sonoras desde la membrana del tímpano hasta las cavidades llenas de líquido en el oído interno		

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son los nombres y las funciones de los huesos de la cara?
2. Identifique las funciones de los senos paranasales.
3. ¿Qué huesos forman el complejo orbitario?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Cráneo de los recién nacidos, los niños y los adultos [v. figura 6.18]

En la formación del cráneo participan muchos centros de osificación diferentes, pero a medida que avanza el desarrollo, su fusión produce un número menor de huesos compuestos. Por ejemplo, el esfenoides procede de 14 centros de osificación independientes. Al nacer, las fusiones no han acabado y existen dos huesos frontales, cuatro occipitales y varios elementos esfenoidales y temporales.

El cráneo se organiza alrededor del encéfalo en desarrollo, y al acercarse el parto, su crecimiento es rápido. Aunque también aumenten los huesos correspondientes, no logran seguir su ritmo, y a estas alturas el esqueleto craneal está unido por zonas de tejido conjuntivo fibroso. Estas uniones son bastante flexibles, y el cráneo puede deformarse sin sufrir ningún daño. Durante el parto vaginal es normal su adaptación, que facilita el paso del recién nacido a través del canal. Las regiones fibrosas más extensas que separan los huesos craneales se denominan **fontanelas** (v. figura 6.18):

- La *fontanela anterior* es la más grande. Queda en la intersección entre las suturas frontal, sagital y coronal.
- La *fontanela posterior* está en la unión entre las suturas lambdoidea y sagital.
- Las *fontanelas esfenoidales* se encuentran en la confluencia entre las suturas escamosas y la sutura coronal.
- Las *fontanelas mastoideas* aparecen en el punto de reunión entre las suturas escamosas y la sutura lambdoidea.

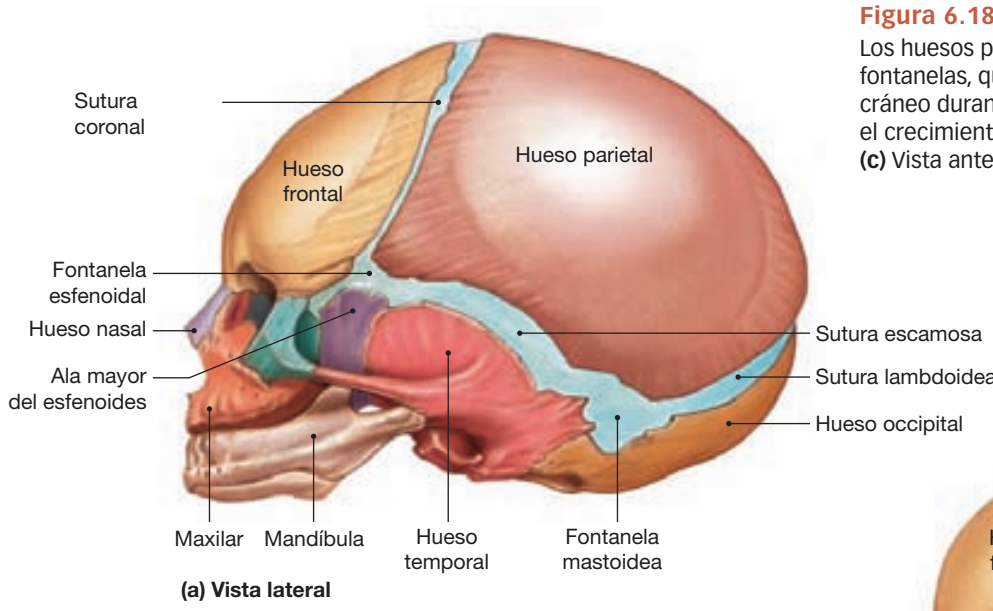
El cráneo de los recién nacidos es distinto al de los adultos en lo que atañe a su forma y a la estructura de los elementos que lo componen, y esta diferencia explica las variaciones en sus proporciones, así como en su tamaño. El crecimiento más pronunciado tiene lugar antes de los 5 años; en esa época, el encéfalo deja de crecer y se forman las suturas craneales. Por esta razón, en comparación con un cráneo en su conjunto, el cráneo de un niño pequeño es relativamente mayor que el de un adulto.

Columna vertebral [v. figura 6.19]

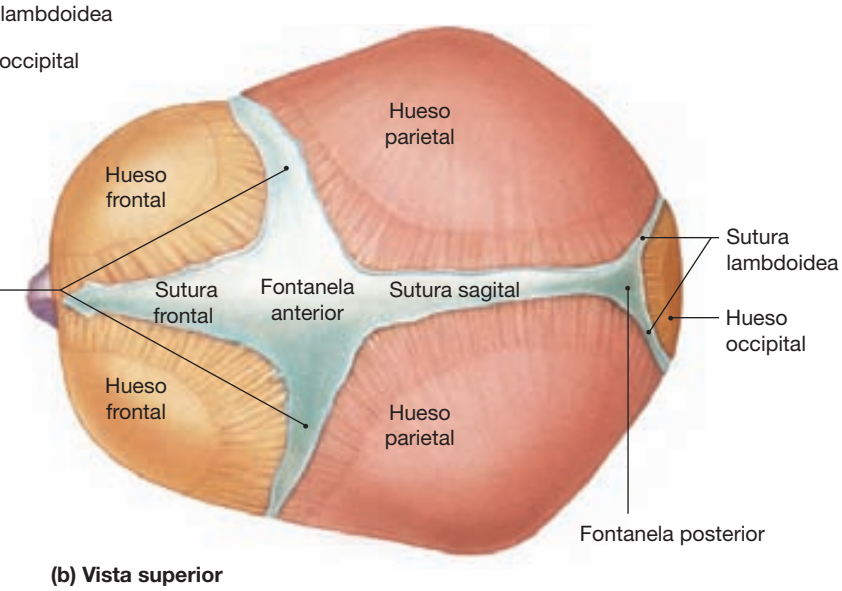
El resto de los huesos que componen el esqueleto de la cabeza y el tronco queda repartido entre la columna vertebral y la jaula torácica. La **columna vertebral** del adulto consta de 26 huesos, integrados por las vértebras (24), el sacro y el cóccix. Las vértebras facilitan una columna de sostén, que soporta el peso de la cabeza, el cuello y el tronco, y acaba por transmitírselo al esqueleto de las extremidades inferiores. También protegen la médula espinal, ofrecen una vía de paso a los nervios espinales que nacen o acaban en dicha estructura, y sirven para mantener el cuerpo en posición vertical, tal como sucede al estar sentado o de pie.

La columna vertebral se divide en varias regiones: desde el cráneo, sus partes son las zonas *cervical, torácica, lumbar, sacra* y *coccígea* (v. figura 6.19). Cada región tiene diferentes funciones y, como resultado, las vértebras de cada una presentan especializaciones anatómicas ceñidas a dichas diferencias funcionales. Las vértebras situadas en la transición entre dos regiones de la columna vertebral compartirán algunas características anatómicas de la superior y de la inferior.

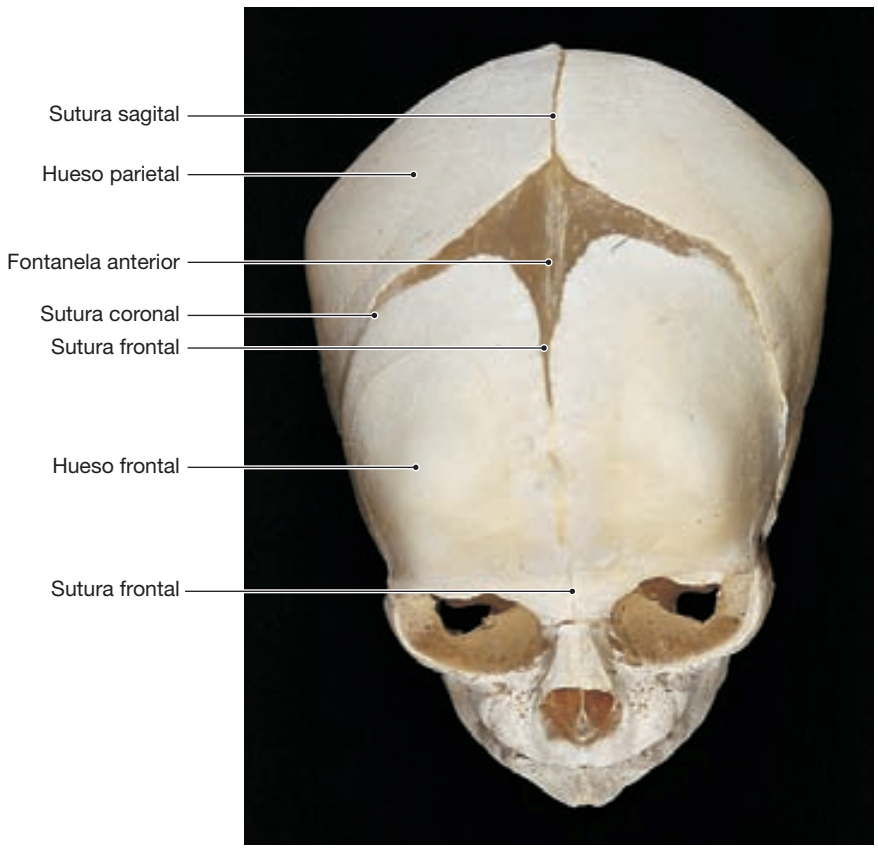
Siete *vértebras cervicales* son las que constituyen el cuello y se extienden en sentido inferior hasta el tronco. La primera forma un par de articulaciones con los cóndilos occipitales del cráneo. La séptima se articula con la primera vértebra



(a) Vista lateral



(b) Vista superior



(c) Vista anterosuperior

(d) Vista posterior

Figura 6.18 Cráneo de un recién nacido
Los huesos planos en el cráneo del recién nacido están separados por fontanelas, que dejan un margen para la dilatación craneal y la deformación del cráneo durante el parto. Alrededor de los 4 años, estas zonas desaparecerán, y el crecimiento del cráneo habrá acabado. **(a)** Vista lateral. **(b)** Vista superior. **(c)** Vista anterior. **(d)** Vista posterior.

torácica. Otras 12 *vértebras torácicas* forman la región central de la espalda y cada una se articula con un par de costillas como mínimo. La duodécima lo hace con la primera vértebra lumbar. Otras cinco *vértebras lumbares* componen la parte inferior de la espalda; la quinta se articula con el sacro, que a su vez lo hace con el cóccix. Las regiones cervical, torácica y lumbar están integradas por vértebras independientes. Durante el desarrollo, en un primer momento, el *sacro* consta de un grupo de cinco vértebras y el *cóccix* surge a partir de tres a cinco vértebras muy pequeñas. Las vértebras sacras suelen completar su fusión a los 25 años de edad. Las vértebras coccígeas distales no culminan su osificación antes de la pubertad, y desde ese instante su fusión lleva un ritmo variable. La longitud total media de la columna vertebral de un adulto es de 71 cm.

Curvaturas vertebrales [v. figura 6.19]

La columna vertebral no es una estructura recta y rígida. Cualquier vista lateral suya en el adulto muestra cuatro **curvaturas vertebrales** (v. figura 6.19a-c): 1) **curvatura cervical;** 2) **curvatura torácica;** 3) **curvatura lumbar,** y 4) **curvatura sacra.** En la figura 6.19d está representada su secuencia de aparición desde el feto al recién nacido, el niño y el adulto. Las curvaturas torácica y sacra se denominan **curvaturas primarias,** porque surgen al final del desarrollo fetal. También reciben el nombre de **curvaturas de capacidad,** porque albergan las vísceras torácicas y abdominopélvicas. En el recién nacido, la columna vertebral tiene forma de «C» en vez de la «S» invertida del adulto, pues sólo están

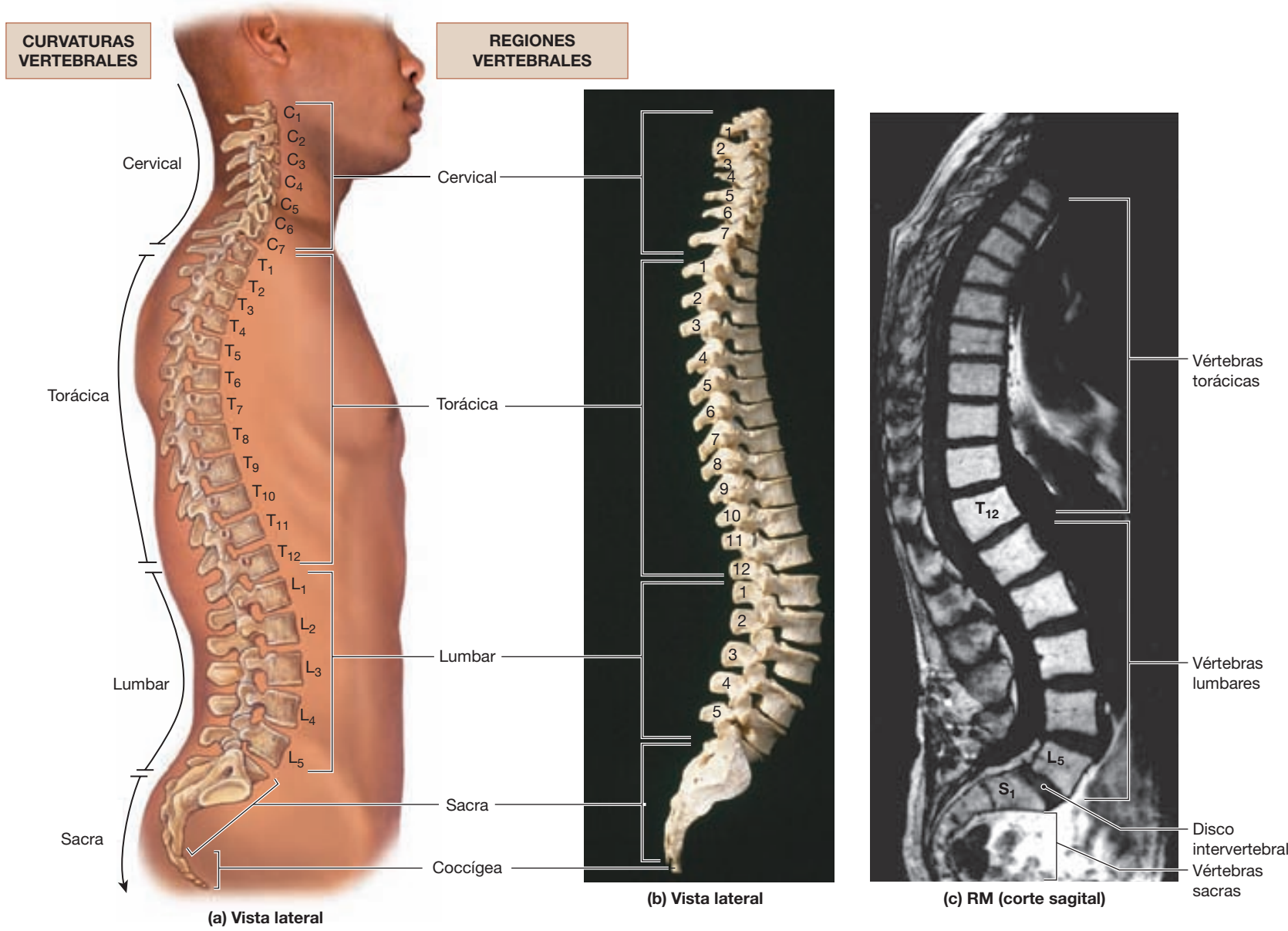


Figura 6.19 Columna vertebral
Vistas laterales de la columna vertebral. **(a)** Las principales divisiones de la columna vertebral, que manifiestan las cuatro curvaturas vertebrales del adulto. **(b)** Columna vertebral normal: vista lateral. **(c)** RM de la columna vertebral adulta (vista lateral). **(d)** Formación de las curvaturas vertebrales.

presentes las citadas curvaturas primarias. Las curvaturas lumbar y cervical, llamadas **curvaturas secundarias,** no se forman hasta varios meses después del parto. También llevan la denominación de **curvaturas de compensación,** porque sirven para desplazar el peso del tronco sobre las piernas en los momentos en que el niño empieza a ponerse de pie. Su perfil se acentúa cuando aprende a caminar y a correr. Las cuatro curvaturas ya están totalmente constituidas llegada la época en que el niño cumple 10 años.

Al ponerse de pie, el peso del cuerpo debe transmitirse a través de la columna vertebral hasta las caderas y, por último, pasa a las extremidades inferiores. De todos modos, su mayor proporción queda delante de la columna vertebral. Las diversas curvaturas lo desvían para lograr alinearlo con el eje corporal y su centro de gravedad. Piense en lo que cualquier persona hace automáticamente cuando sujeta un objeto pesado estando de pie. Para no perder el equilibrio y caerse hacia adelante, exagera la curvatura lumbar, lo que

Nota clínica

Cifosis, lordosis y escoliosis (v. figura 6.20) La columna vertebral tiene que mover el tronco y la cabeza, mantenerlo en equilibrio y sostenerlo, con la participación de múltiples huesos y articulaciones. Cualquier situación o fenómeno que dañe a los huesos, los músculos o los nervios puede desembocar en una deformación y una alteración de su funcionamiento. En la **cifosis,** la curvatura torácica normal se exagera hacia atrás, lo que produce una espalda de aspecto «encorvado» (v. figura 6.20a). Este proceso puede estar ocasionado por las siguientes causas: 1) una osteoporosis con aplastamientos vertebrales que afecten a las porciones anteriores de los cuerpos vertebrales; 2) una contracción crónica de los músculos que se insertan en las vértebras, o 3) un crecimiento vertebral anormal.

En la **lordosis,** el abdomen y las nalgas sobresalen de manera anómala (v. figura 6.20b). Su origen deriva de una acentuación anterior de la curvatura lumbar. Esto puede deberse a una obesidad de la pared abdominal o a una debilidad de su musculatura.

La **escoliosis** es una curvatura anormal de la columna hacia un lado (v. figura 6.20c). La desviación va a afectar a una o más de las vértebras móviles. La escoliosis es la deformación más frecuente de la curvatura vertebral. Este trastorno puede obedecer a algún problema de desarrollo, como la formación incompleta de las vértebras, o a una parálisis muscular en uno de los lados de la espalda (como en algunos casos de poliomielitis). El «jorobado de Notre Dame» padecía una escoliosis grave; antes de descubrirse los tratamientos antibióticos, muchas veces estaba provocada por la infección tuberculosa de la columna. En cuatro de cada cinco casos, es imposible determinar la causa estructural o funcional de la curvatura vertebral anormal. Por regla general, esta escoliosis idiopática aparece en las chicas durante la adolescencia, al atravesar unos períodos de crecimiento más rápidos. El tratamiento puede consistir en la combinación de ejercicio y corsés, pero tiene poca utilidad o ninguna. Los casos más graves pueden abordarse mediante el enderezamiento quirúrgico con la implantación de varillas o cables metálicos.

(a) Cifosis (b) Lordosis (c) Escoliosis

Figura 6.20 Curvaturas anormales de la columna vertebral

acerca el peso y el centro de gravedad hacia el eje del cuerpo. Esta postura puede generar molestias en la base de la columna vertebral. De forma parecida, durante los tres últimos meses de la gestación las mujeres suelen padecer un dolor crónico de espalda debido a los cambios experimentados por la curvatura lumbar como medio de adaptación al peso creciente del feto. Seguro que ha observado imágenes de personas africanas o sudamericanas que transportan sobre la cabeza un objeto pesado en equilibrio. Esta costumbre aumenta la presión ejercida en la columna vertebral, pero como el peso está alineado con su eje, no tiene ninguna repercusión sobre las curvaturas vertebrales y la sobrecarga se reduce al mínimo.

Anatomía vertebral [v. figura 6.21]

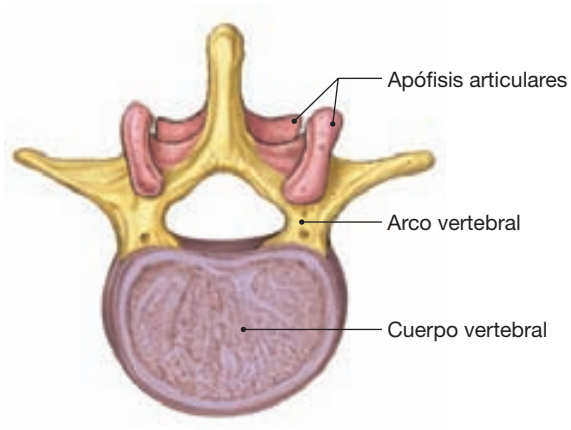
En general, las vértebras siguen un plan estructural común (v. figura 6.21). En su parte anterior, cada una presenta un *cuerpo* esférico u ovalado relativamente grueso, desde el que nace un *arco vertebral* en sentido posterior. Desde el arco vertebral surgen varias apófisis para la inserción de músculos o para su articulación con las costillas. Un par de *apófisis articulares* sobresalen del arco vertebral por sus caras superior e inferior. Estos representan la articulación entre vértebras adyacentes (v. figura 6.21d,e).

Cuerpo de la vértebra [v. figura 6.21e]

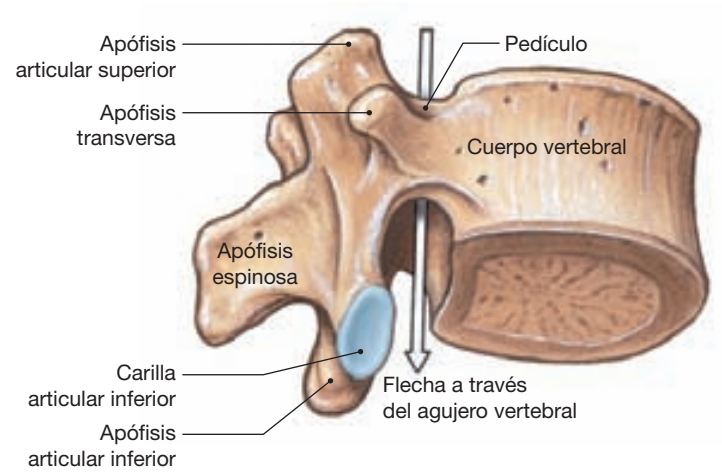
El **cuerpo vertebral,** o *centro,* es la parte de la vértebra que transmite el peso siguiendo el eje de la columna vertebral (v. figura 6.21e). Cada vértebra se articula con sus dos vecinas; los cuerpos están interconectados por ligamentos y separados por unas almohadillas de cartílago fibroso, los **discos intervertebrales.**

Arco vertebral [v. figura 6.21]

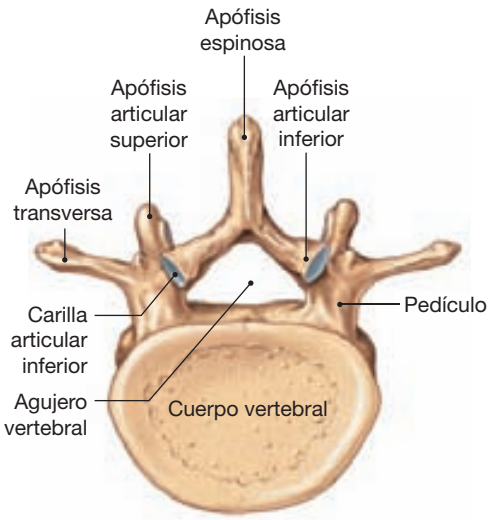
El **arco vertebral** (v. figura 6.21), también llamado **arco neural,** forma los límites lateral y posterior del **agujero vertebral,** que durante la vida rodea a un segmento de la médula espinal. El arco vertebral tiene un suelo (la cara posterior del cuerpo), unas paredes (los *pedículos*) y un techo (las *láminas*) (*lamina,* «capa delgada»). Los **pedículos** salen de los bordes posterolaterales (posteriores y laterales) del cuerpo. Las **láminas** se extienden a cada lado con una dirección dorsomedial (dorsal y medial) para completar el techo. Desde su zona de fusión entre ellas, sale una **apófisis espinosa,** también llamada *apófisis espinal,* en sen-



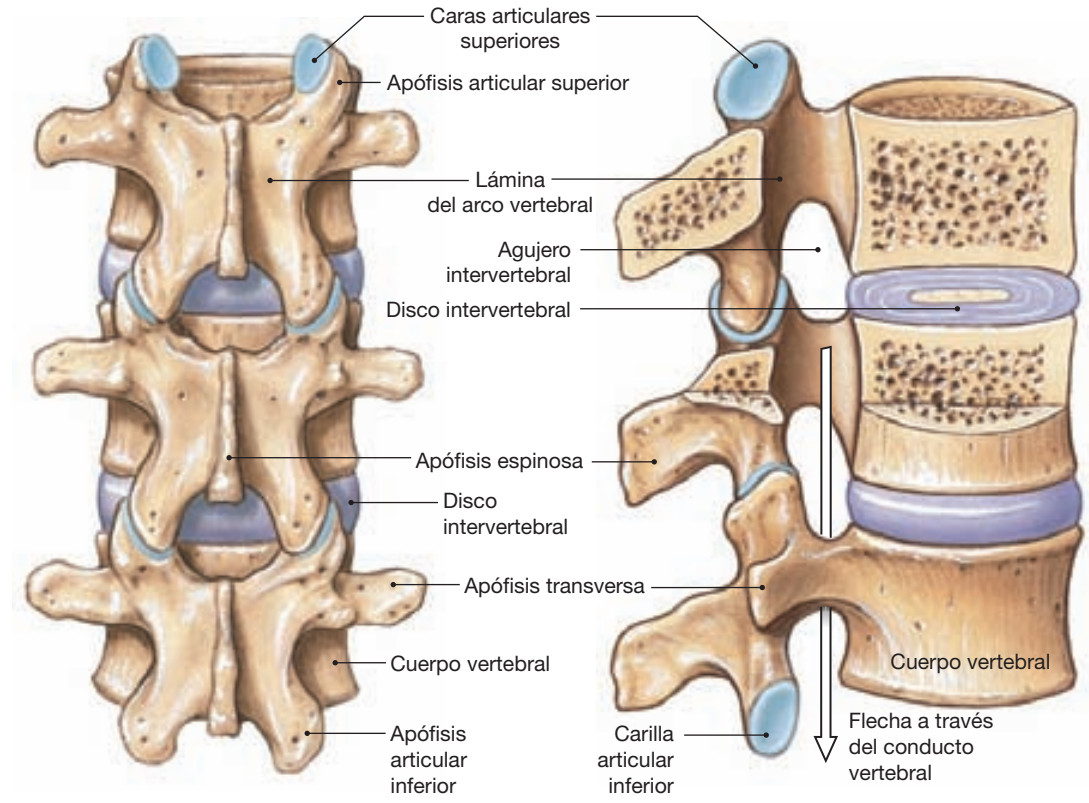
(a) Vista superior



(b) Vistas lateral e inferior



(c) Vista inferior



(d) Vista posterior (e) Vista lateral

Figura 6.21 Anatomía de las vértebras
Anatomía de una vértebra típica y disposición de las articulaciones entre ellas. **(a)** Vista superior de una vértebra. **(b)** Vista lateral y algo inferior de una vértebra. **(c)** Vista inferior de una vértebra. **(d)** Vista posterior de tres vértebras articuladas. **(e)** Vista lateral y de corte de tres vértebras articuladas.

tido dorsal y posterior siguiendo la línea media. Estas apófisis pueden verse y palparse a través de la piel de la espalda. Las **apófisis transversas** sobresalen hacia ambos lados en sentido lateral o dorsolateral desde el punto de unión entre las láminas y los pedículos. Estas apófisis son zonas de inserción muscular, y también pueden articularse con las costillas.

Apófisis articulares [v. figura 6.21]

Las **apófisis articulares** también nacen en la confluencia entre los pedículos y las láminas. A cada lado de la vértebra hay una apófisis articular superior y otra inferior. Las **apófisis articulares superiores** salen en sentido craneal; las **apófisis articulares inferiores** lo hacen en sentido caudal (v. figura 6.21).

Articulación vertebral [v. figura 6.21]

Las apófisis articulares inferiores de una vértebra se articulan con las superiores de la siguiente más caudal. Cada apófisis articular posee una superficie pulida llamada **carilla articular.** Las superiores tienen las caras articulares sobre su superficie dorsal, mientras que las inferiores se articulan por sus caras ventrales.

En conjunto, los arcos vertebrales de la columna vertebral forman el **conducto vertebral,** un espacio que encierra la médula espinal. Sin embargo, tampoco se encuentra totalmente embutida dentro del hueso. Los cuerpos vertebrales están separados por los discos intervertebrales, y entre los pedículos de las vértebras sucesivas queda un hueco. Estos **agujeros intervertebrales** (v. figura 6.21) dejan pasar los nervios que entran o salen de la médula espinal contenida en el interior.

Regiones vertebrales [v. figura 6.19a y tabla 6.3]

Al referirse a cualquier vértebra, la letra mayúscula indica la región vertebral y el subíndice numérico la vértebra en cuestión, partiendo desde la vértebra cervical más próxima al cráneo. Por ejemplo, C_3 designa la tercera vértebra cervi-

cal, pues C_1 está en contacto con el cráneo; L_4 es la cuarta vértebra lumbar, y L_1 está en contacto con la última vértebra torácica (**v. figura 6.19a**). Este es el método que se utilizará a lo largo de todo el texto.

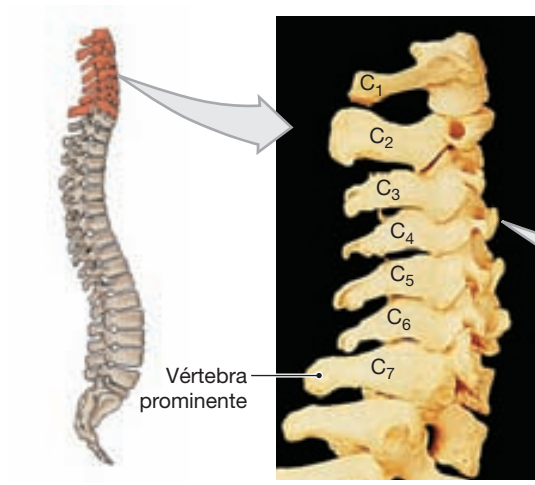
Aunque cada vértebra tenga sus propios detalles y sus articulaciones, nos centramos en las características generales de cada región y cómo sus variaciones determinan la función básica que cumpla ese grupo vertebral. La tabla 6.3 compara entre sí la vértebra típica correspondiente a cada región de la columna vertebral.

Vértebras cervicales [v. figura 6.22 y tabla 6.3]

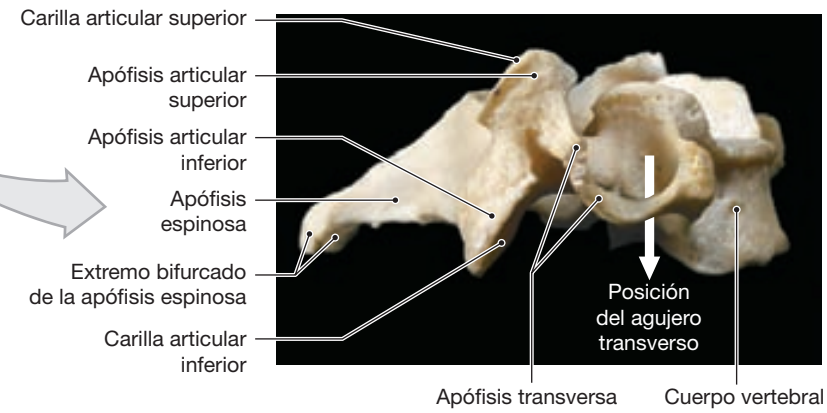
Las siete **vértebras cervicales** son las más pequeñas de todas (**v. figura 6.22**). Cubren el espacio que va desde el hueso occipital del cráneo hasta el tórax. Tal como se verá a continuación, la primera, la segunda y la séptima poseen unas características extraordinarias y se las considera vértebras cervicales atípicas, mientras que de la tercera a la sexta exhiben unos rasgos similares y se las tiene por vértebras cervicales típicas. Fíjese en que el cuerpo de una

TABLA 6.3 Diferencias regionales en la estructura de las vértebras y su función

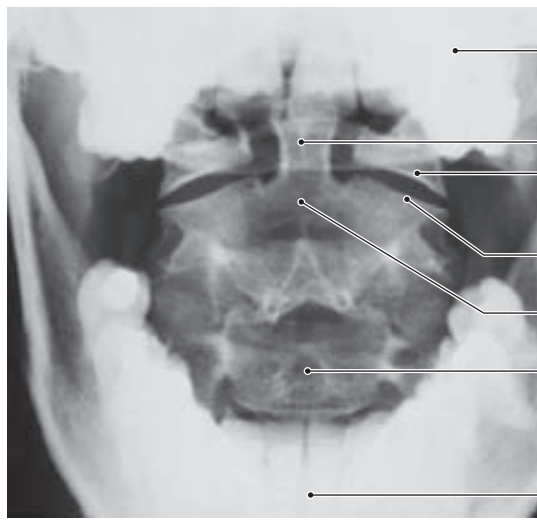
Tipo (número)	Cuerpo vertebral	Agujero vertebral	Apófisis espinosa	Apófisis transversa	Funciones
Vértebras cervicales (7) *(v. figura 6.22)*	Pequeño; ovalado; caras en curva	Grande	Larga; partida; punta dirigida hacia abajo	Con un agujero transverso	Sostiene el cráneo, estabiliza el encéfalo y la médula espinal en sus posiciones relativas, permite un movimiento controlado de la cabeza
Vértebras torácicas (12) *(v. figura 6.24)*	Medio; en forma de corazón; caras planas; fositas para las articulaciones costales	Más pequeño	Larga; delgada; sin dividir; punta dirigida hacia abajo	Todas, excepto dos (T_{11}, T_{12}), tienen fositas para las articulaciones costales	Sostiene el peso de la cabeza, el cuello, las extremidades superiores y los órganos de la cavidad torácica; se articula con las costillas para poder modificar el volumen de la jaula torácica
Vértebras lumbares (5) *(v. figura 6.25)*	Macizo; ovalado; caras planas	El más pequeño	Achatada; punta ancha dirigida hacia atrás	Corta; sin fositas articulares ni agujero transverso	Sostiene el peso de la cabeza, el cuello, las extremidades superiores y los órganos de las cavidades torácica y abdominal



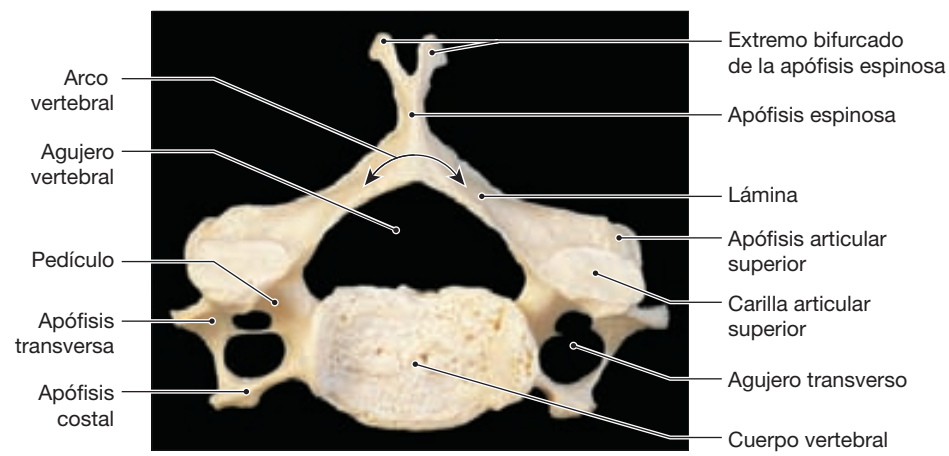
(a) Vértebras cervicales



(b) Vértebra cervical típica, vista lateral



(d) Radiografía de las vértebras cervicales superiores, proyección anteroposterior



(c) Vértebra cervical típica, vista superior

Figura 6.22 Vértebras cervicales

Son las vértebras más pequeñas y superiores. **(a)** Vista lateral de las vértebras cervicales. **(b)** Vista lateral de una vértebra cervical típica (C_3-C_6). **(c)** Vista superior de la misma vértebra. Obsérvense los rasgos característicos mencionados en la tabla 6.3. **(d)** Radiografía de las vértebras cervicales superiores: proyección anteroposterior. La boca está abierta y son visibles los dientes inferiores.

vértebra cervical es relativamente pequeño en comparación con el tamaño que ocupa su agujero vertebral triangular. En esta región, la médula espinal todavía contiene la mayor parte de los nervios que comunican el encéfalo con el resto del cuerpo. Al bajar por el conducto vertebral, su diámetro desciende, igual que el del arco vertebral. Por otro lado, las vértebras cervicales no han de mantener más que el peso de la cabeza, por lo que pueden tener unos cuerpos relativamente pequeños y ligeros. Al avanzar en sentido caudal a lo largo de la columna vertebral, la carga aumenta y los cuerpos vertebrales crecen poco a poco.

En una vértebra cervical típica (C_3-C_6), la cara superior del cuerpo es cóncava de un lado a otro, y está inclinada, pues el borde anterior queda a una altura inferior al posterior. La apófisis espinosa es relativamente rechoncha y normalmente más corta que el diámetro del agujero vertebral. En la punta de cada una hay una escotadura patente, excepto en C_7. Esta apófisis espinosa hendida se define como *bífida* (*bifidus,* cortado en dos partes). En la parte lateral, las apófisis transversas se fusionan con las **apófisis costales** que nacen cerca de la porción ventrolateral del cuerpo. *Costal* alude a costilla, y estas apófisis representan el resto fusionado de las costillas cervicales. Las apófisis costales y transversas rodean unos **agujeros transversos** redondos y claramente visibles. Estas vías de paso protegen a las *arterias vertebrales* y a las *venas vertebrales,* dos vasos sanguíneos importantes que irrigan el encéfalo.

La descripción facilitada bastaría para identificar todas las vértebras cervicales, excepto las dos primeras. Al articularse las vértebras cervicales C_3-C_7 entre sí, sus cuerpos vertebrales bien engranados permiten un grado relativamente mayor de flexibilidad que en otras regiones. Las dos primeras vértebras cervicales son excepcionales y la séptima está modificada. La tabla 6.3 resume las características de las vértebras cervicales.

Atlas (C1) [v. figura 6.23a,b] El **atlas** (C_1), que está articulado con el cráneo por los cóndilos occipitales mediante la carilla articular superior de su apófisis articular superior, sostiene la cabeza (**v. figura 6.23a,b**). Toma su nombre de Atlas, figura de la mitología griega que sostenía el mundo. La articulación entre los cóndilos occipitales y el atlas permite asentir (decir «sí» con la cabeza), pero no deja girar.

El atlas puede distinguirse de otras vértebras por las siguientes características: 1) la ausencia de cuerpo; 2) la existencia de unos **arcos vertebrales anterior** y **posterior** de forma semicircular, cada uno con sus **tubérculos anterior** y **posterior;** 3) la presencia de unas **carillas articulares superiores** que son ovaladas y unas **carillas articulares inferiores** que son redondas, y 4) el agujero vertebral más grande de todas las vértebras. Estos cambios dejan más espacio libre para la médula espinal, lo que evita su lesión al ejecutar la enorme amplitud de movimientos posibles en esta región de la columna vertebral.

El atlas se articula con la segunda vértebra cervical, el *axis.* Su disposición permite la rotación (como sucede al sacudir la cabeza de izquierda a derecha para decir «no»).

Axis (C2) [v. figura 6.23c-f] Durante el desarrollo, el cuerpo del atlas se fusiona con el de la segunda vértebra cervical, llamada **axis** (C_2) (**v. figura 6.23c,d**). Esta unión crea una estructura destacada, el **diente** (*denz,* diente), o *apófisis odontoides* (*odontos,* diente) del axis. Por tanto, entre el atlas y el axis no existe un disco intervertebral. Un *ligamento transverso* fija el diente a la cara interna del atlas, y forma un eje central para la rotación del atlas y el cráneo sobre el resto de la columna vertebral. Esto permite el giro de la cabeza de un lado a otro (como al decir «no»; **v. figura 6.23e,f**). Unos músculos importantes encargados de controlar la posición de la cabeza y el cuello se insertan en la apófisis espinosa del axis, que es especialmente robusta.

En un niño, la fusión entre la apófisis odontoides y el axis no resulta completa y puede producirse una luxación del diente y una grave lesión de la médula espinal con un choque o hasta con una sacudida fuerte. En el adulto, los golpes en la base del cráneo pueden ser igual de peligrosos, porque la luxación de la articulación atloidoodontoidea puede empujar la apófisis odontoides hacia la base del encéfalo, y provocar un desenlace mortal.

Vértebra prominente (C_7) [v. figuras 6.22a/6.24a] Las transiciones de una región vertebral a otra no son bruscas y la última vértebra de una de ellas suele parecerse a la primera de la siguiente. La **vértebra prominente** (C_7) tiene una apófisis espinosa larga y delgada, acabada en un tubérculo ancho, que puede tocarse bajo la piel en la base del cuello. Esta vértebra, representada en las **figuras 6.22a** y **6.24a**, marca el límite entre la curvatura cervical, que forma un arco anterior, y la torácica, que lo forma con una orientación posterior. Las apófisis transversas son grandes, lo que ofrece una superficie añadida para la inserción de músculos, y los agujeros transversos pueden verse reducidos o desaparecer del todo. Un gran ligamento elástico, el **ligamento nucal** (*nucha,* nuca) nace en la vértebra prominente y se dirige en sentido craneal hasta su inserción a lo largo de la cresta occipital externa. A lo largo de su trayecto, se fija en las apófisis espinosas de las demás vértebras cervicales. Cuando la cabeza está recta, este ligamento actúa como la cuerda de un arco, y mantiene la curvatura cervical sin ningún esfuerzo muscular. Si el cuello se ha flexionado hacia adelante, la elasticidad de este ligamento sirve para que la cabeza recupere una posición vertical.

La cabeza es relativamente grande y está encima de las vértebras cervicales como si fuera un cuenco de sopa sobre la yema de un dedo. Con esta disposición, cualquier músculo pequeño puede ejercer considerables efectos al inclinar la balanza en un sentido o en otro. Pero si el cuerpo cambia repentinamente de posición, como sucede al caerse o al sufrir una rápida aceleración (el despegue de un reactor) o desaceleración (un accidente de tráfico), los músculos que guardan ese equilibrio no tienen fuerza suficiente para estabilizar la cabeza. Así, puede producirse la peligrosa luxación parcial o total de las vértebras cervicales, con lesión de los músculos y los ligamentos, y posible traumatismo de la médula espinal. El término **latigazo** se emplea para describir dicha situación, pues el movimiento de la cabeza se parece al restallar de un látigo.

Vértebras torácicas [v. figura 6.24 y tabla 6.3]

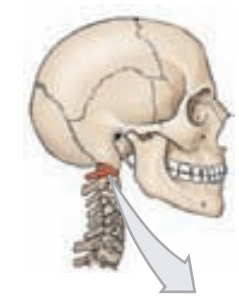
Hay 12 **vértebras torácicas.** Cualquier vértebra torácica típica (**v. figura 6.24**) posee un cuerpo característico con forma de corazón, que resulta más sólido que el de una vértebra cervical. El agujero vertebral es redondo y relativamente más pequeño, y la apófisis espinosa es larga y delgada, y sobresale en sentido posterocaudal. Las apófisis espinosas de T_{10}, T_{11} y T_{12} se parecen cada vez más a las de la serie lumbar, según se acerca la transición entre las curvaturas torácica y lumbar. Debido al peso acarreado por las vértebras torácicas inferiores y lumbares, cuesta estabilizar la zona de cambio. Por esta razón, los aplastamientos vertebrales o las fracturas-luxación por compresión tras una caída seria son más frecuentes en las últimas vértebras torácicas y las dos primeras lumbares.

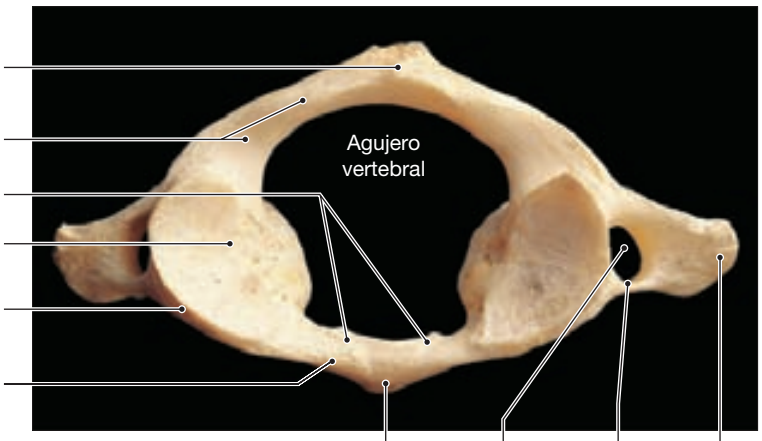
Cada vértebra torácica se articula con las costillas a lo largo de la cara dorsolateral de su cuerpo. La posición y la estructura de estas articulaciones varía algo de una vértebra a la siguiente (**v. figura 6.24b,c**). Las vértebras torácicas T_1 a T_8 tienen unas **fositas costales superior** e **inferior,** pues se articulan con dos pares de costillas. Las vértebras T_9 a T_{12} sólo tienen una única fosita costal a cada lado.

Las apófisis transversas de las vértebras T_1 a T_{10} son relativamente gruesas, y sus caras anterolaterales contienen unas **fositas costales de las apófisis transversas** para su articulación con los tubérculos de las costillas. Por tanto, las costillas 1 a 10 entran en contacto con sus vértebras en dos puntos, una fosita costal y una fosita costal de la apófiis transversa. Esta doble articulación con las costillas limita la movilidad de las vértebras torácicas. La tabla 6.3 de la p. 163 resume las características de las vértebras torácicas.

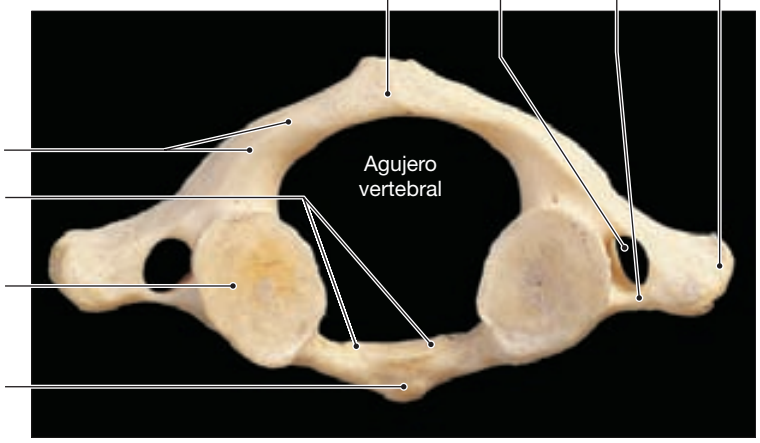
Vértebras lumbares [v. figura 6.25 y tabla 6.3]

Las **vértebras lumbares** son las más grandes del organismo. El cuerpo de una vértebra lumbar típica (**v. figura 6.25**) es más grueso que el de una vértebra torácica, y sus caras superior e inferior son ovaladas en vez de tener forma de corazón. No hay carillas articulares ni en el cuerpo ni en las apófisis transversas, y el agujero vertebral es triangular. Las apófisis transversas son delgadas y sobresalen en sentido dorsolateral, y las apófisis espinosas son rechonchas y lo hacen en sentido dorsal.

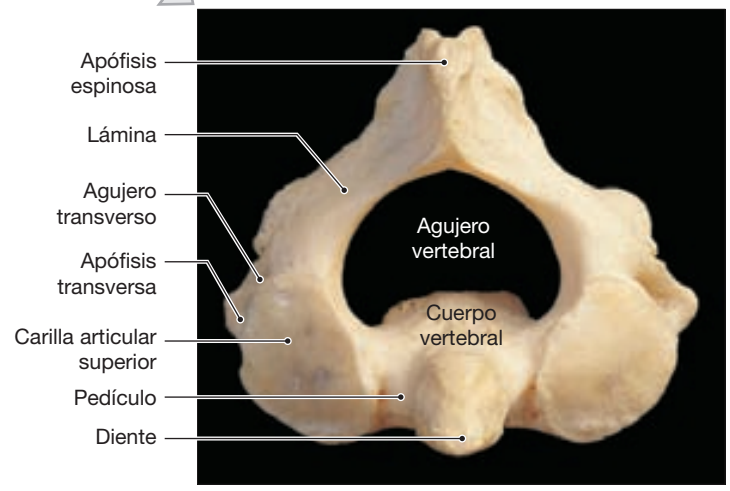




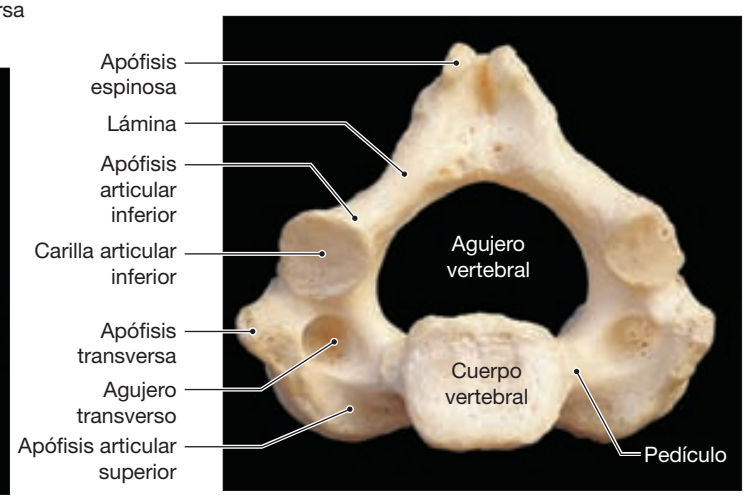
(a) Atlas, vista superior



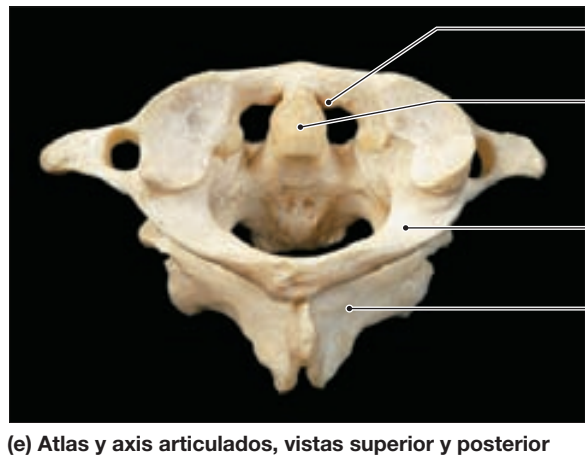
(b) Atlas, vista inferior



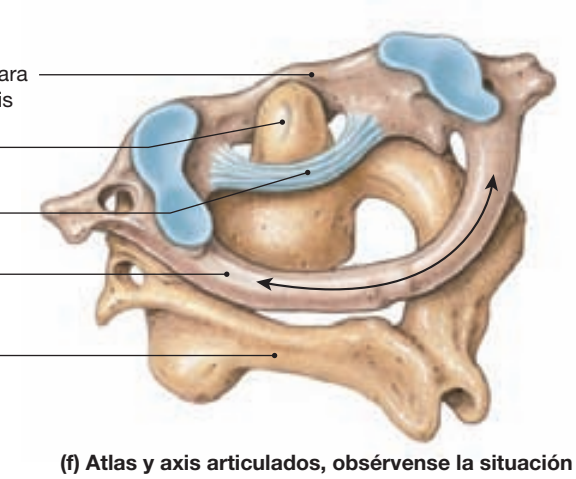
(c) Axis, vista superior



(d) Axis, vista inferior



(e) Atlas y axis articulados, vistas superior y posterior



(f) Atlas y axis articulados, obsérvense la situación y la orientación del ligamento transverso

Figura 6.23 Atlas y axis

Características anatómicas especiales de las vértebras C_1 (atlas) y C_2 (axis). El atlas se observa en una vista superior **(a)** y en otra inferior **(b)**. El axis se ve en una vista superior **(c)** y en otra inferior **(d)**. **(e)** Atlas y axis articulados, en vistas superior y posterior. **(f)** Atlas (C_1) y axis (C_2) articulados, con el ligamento transverso que sujeta el diente del axis en su posición junto a la carilla articular del atlas.

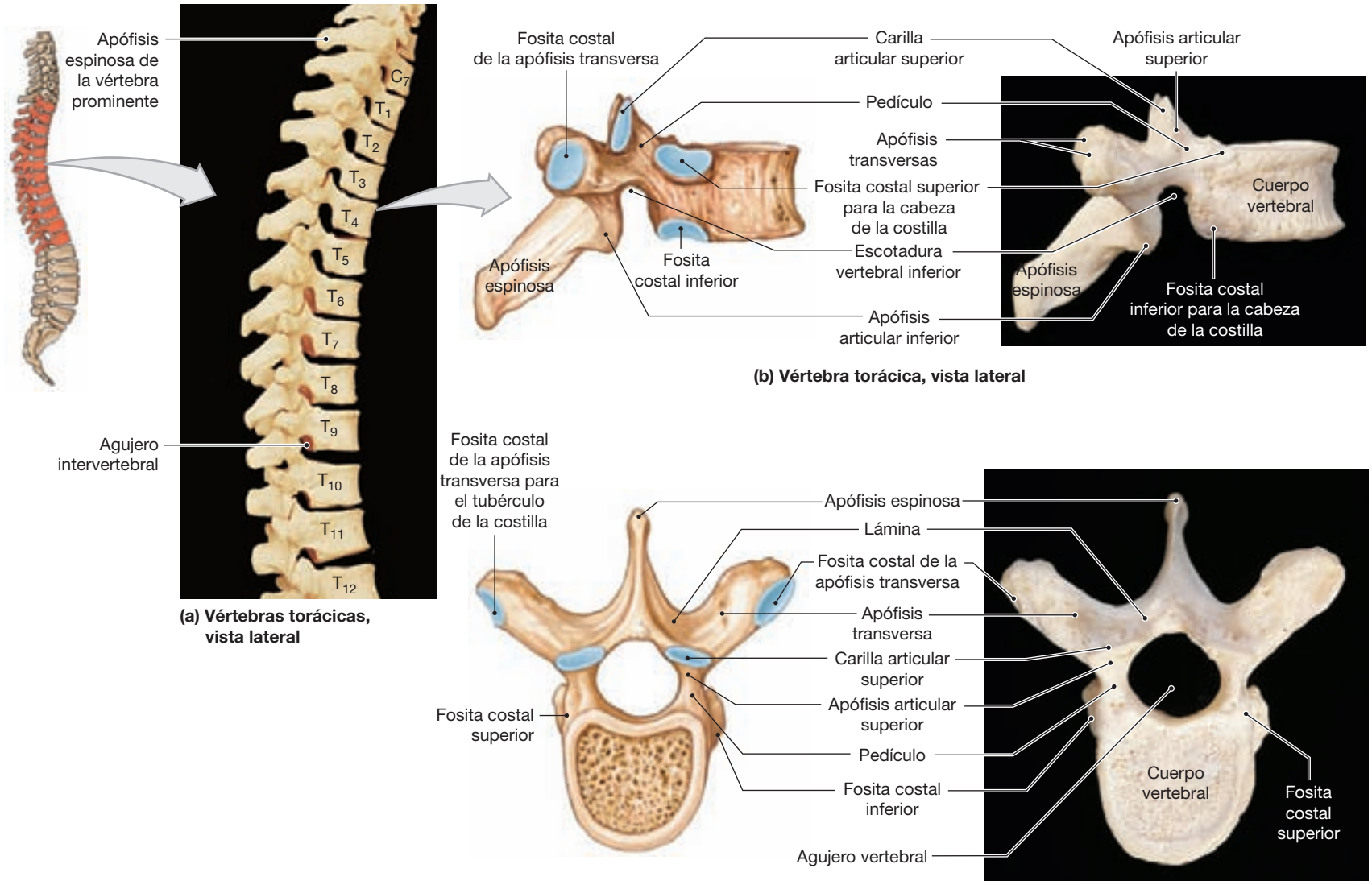
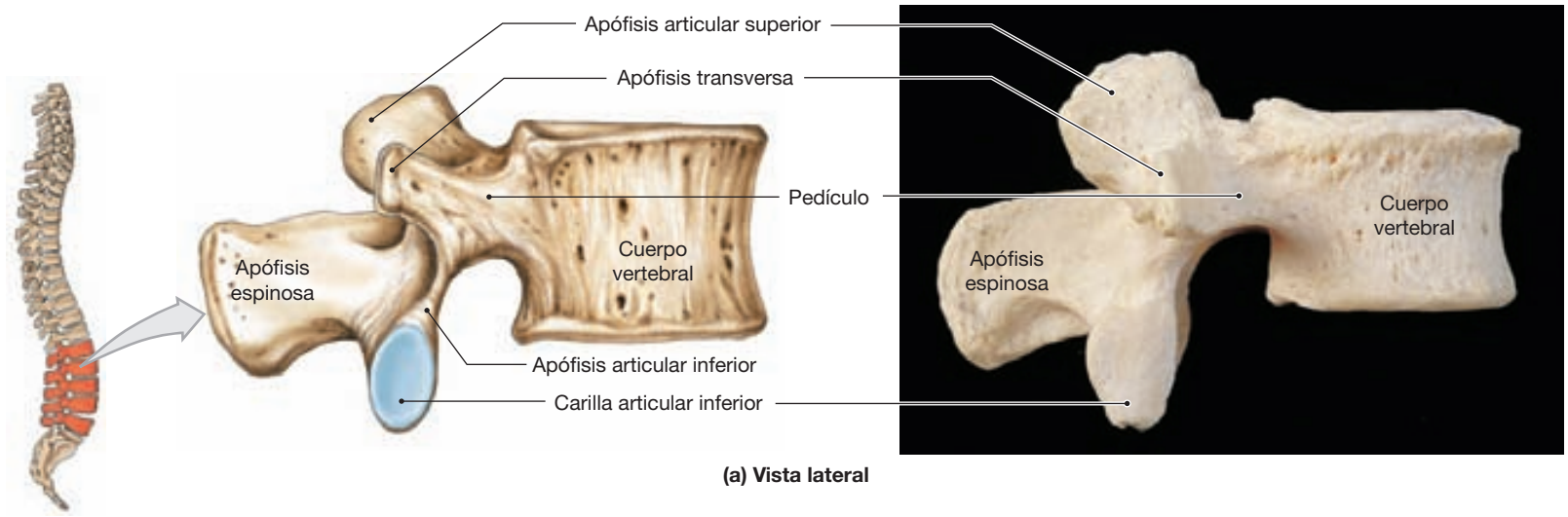


Figura 6.24 Vértebras torácicas
El cuerpo de cada vértebra torácica se articula con las costillas. Obsérvense los rasgos característicos mencionados en la tabla 6.3. **(a)** Vista lateral de la región torácica de la columna vertebral. La vértebra prominente (C_7) se parece a T_1, pero carece de fositas para su articulación con la costilla. La vértebra T_{12} recuerda a la primera vértebra lumbar (L_1), pero tiene una fosita para su articulación con la costilla. Se ofrece una vértebra torácica representativa en sus vistas lateral **(b)**, superior **(c)** y posterior **(d)**.

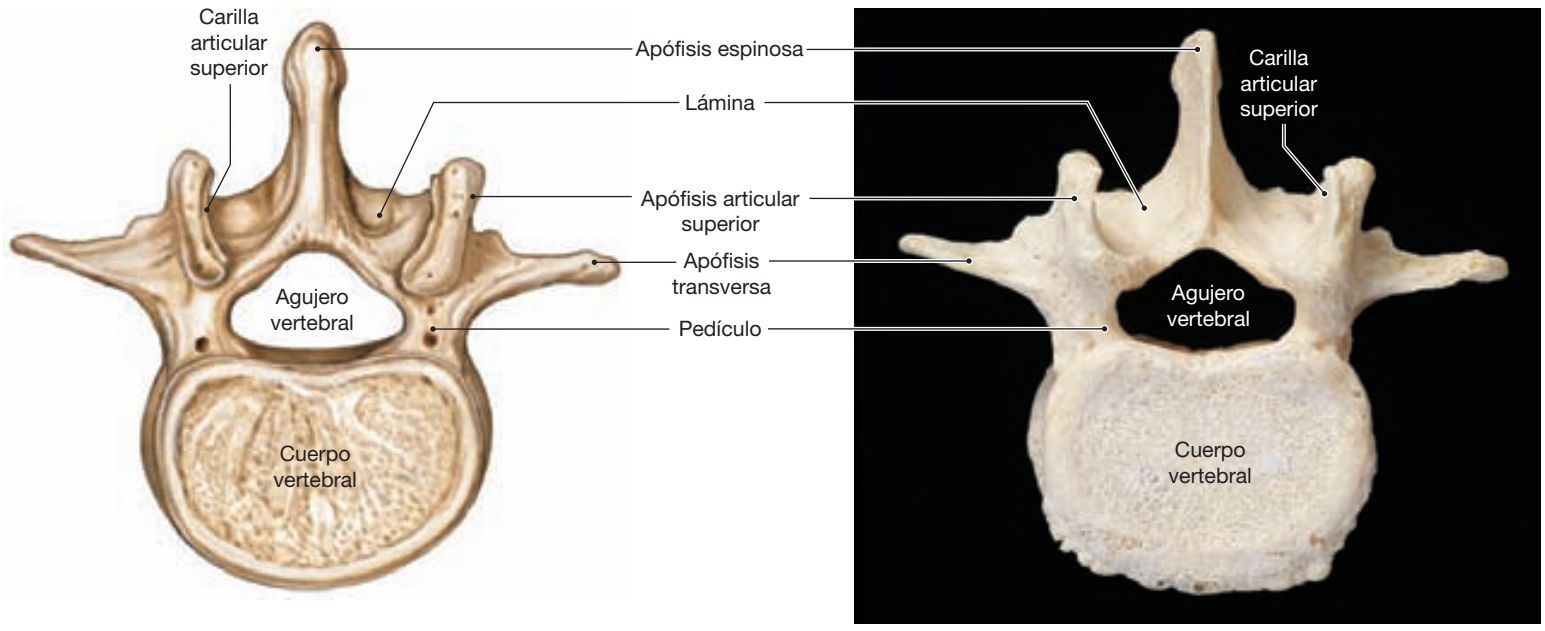
Las vértebras lumbares soportan la mayor parte del peso. Por tanto, las lesiones por compresión de las propias vértebras o de los discos intervertebrales suceden más a menudo en esta región. La alteración más frecuente es un desgarro o una rotura producida en los tejidos conjuntivos del disco intervertebral; este trastorno se denomina hernia de disco. Las apófisis espinosas de las vértebras lumbares son voluminosas y ofrecen una superficie para la inserción de los músculos situados en la parte inferior de la espalda, que refuerzan o modifican la curvatura lumbar. La tabla 6.3 de la p. 163 resume las características de las vértebras lumbares.

Sacro [v. figura 6.26]

El **sacro** (v. figura 6.26) está constituido por los componentes fusionados de las cinco vértebras sacras. Este proceso de unión comienza poco después de la pubertad y suele haber acabado entre los 25 y los 30 años. Una vez completa la fusión, quedan unas *líneas transversales* bien perceptibles que marcan el antiguo límite entre cada vértebra. La estructura resultante de esta combinación protege los órganos genitales, digestivos y excretores y, a través de un par de articulaciones, fija el esqueleto de la cabeza y el tronco a la cintura pélvica del esqueleto de las extremidades. La amplia superficie del



(a) Vista lateral



(b) Vista superior

Figura 6.25 Vértebras lumbares
Las vértebras lumbares son las más grandes y soportan la mayor parte del peso. Se ofrece una vértebra lumbar representativa en sus vistas lateral **(a)** y superior **(b).**

Nota clínica

Espina bífida Durante la tercera semana del desarrollo embrionario, aparecen los arcos vertebrales alrededor de la médula espinal en formación. En el trastorno llamado **espina bífida** *(bifidus,* cortado en dos partes), que es la anomalía congénita del tubo neural (ACTN) más frecuente, un segmento de la médula espinal no culmina su formación con normalidad, de modo que tampoco surgen sus arcos vertebrales adyacentes. Como el arco vertebral está incompleto, las membranas (o meninges) que revisten la cavidad corporal dorsal crean un abombamiento hacia fuera. Se trata de la alteración congénita más habitual del sistema nervioso, llegando su frecuencia hasta 4 casos por cada 1.000 partos (v. «Resumen de embriología» en el capítulo 28 para consultar las imágenes sobre este proceso). Se ha podido sentar una conexión entre las ACTN y factores como la herencia y la alimentación materna, en especial la cantidad de ácido fólico presente antes de la gestación y durante sus primeras fases. Un consejo para las mujeres que puedan quedar embarazadas es que tomen 400 microgramos de ácido fólico al día, y como medio en este sentido, en EE. UU. se ha reforzado con ácido fólico la comida que lleva trigo, arroz y maíz desde 1998. Probablemente por este motivo, la incidencia de las ACTN disminuyó un 19% en este país entre 1998 y 2001.

Tanto la región afectada como la gravedad del cuadro varían mucho. Su aparición es más frecuente en las regiones torácica inferior, lumbar o sacra, con una típica participación de 3-6 vértebras. En el cuadro hay un grado variable de parálisis distribuida por una zona distal a las vértebras en cuestión. Los casos leves que afectan a las regiones sacra y lumbar pueden pasar desapercibidos, porque el funcionamiento nervioso no sufre unos daños apreciables y la «grasa infantil» es capaz de ocultar el hecho de que falten parte de las apófisis espinosas. Una vez detectada la espina bífida, su reparación quirúrgica puede cerrar el hueco abierto en la pared vertebral. Los casos graves, en los que participe toda la columna vertebral y el cráneo, reflejan un problema serio en la formación de la médula espinal y el encéfalo. Estas alteraciones nerviosas suelen acabar con el feto antes del parto; los recién nacidos con semejantes defectos congénitos casi nunca sobreviven más allá de unas horas o unos días.

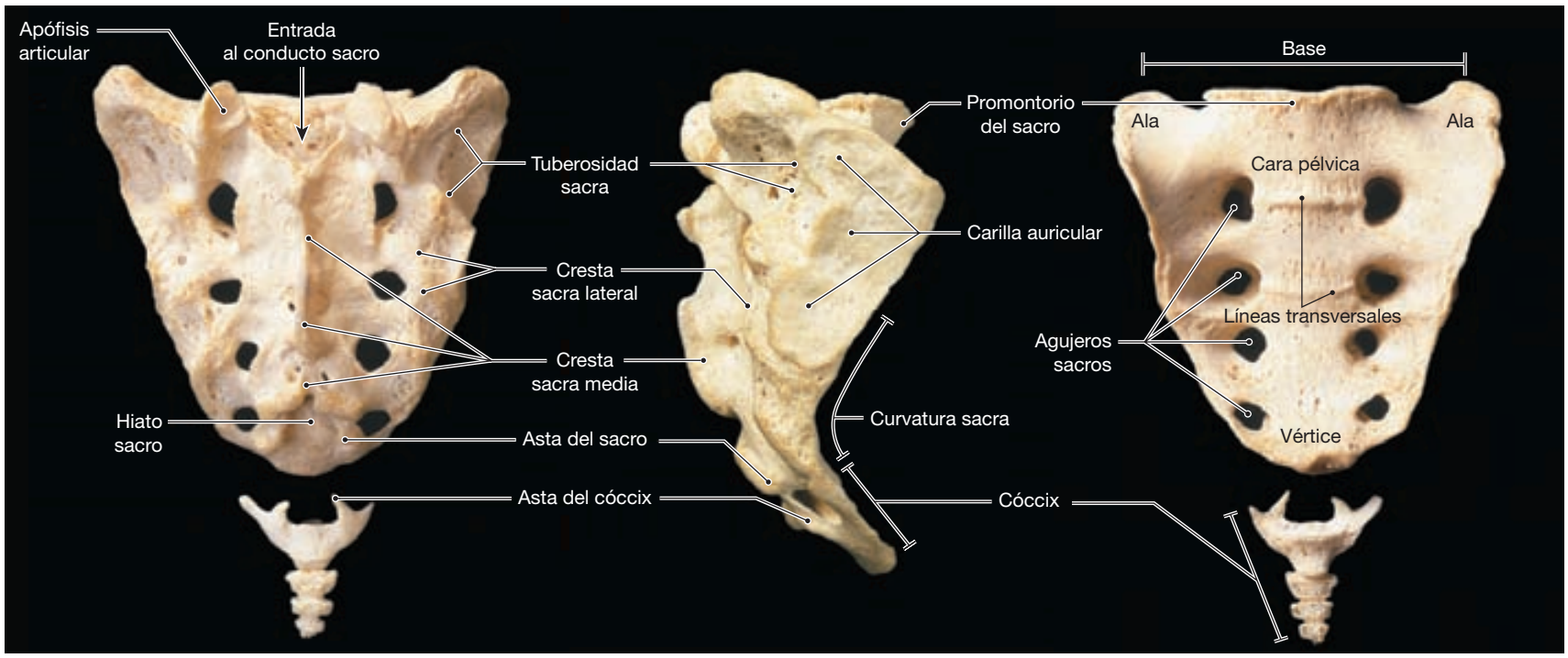


Figura 6.26 Sacro y cóccix
El sacro y el cóccix adultos están formados por unas vértebras fusionadas. Se ofrecen estos huesos en sus vistas posterior **(a),** lateral desde el lado derecho **(b)** y anterior **(c).**

sacro ofrece una extensa área para la inserción muscular, sobre todo de los elementos responsables de movilizar el muslo.

El sacro forma una curva, cuya cara dorsal es convexa (v. figura 6.26a). La estrecha porción más caudal es el **vértice** del sacro, mientras que la ancha superficie superior corresponde a la **base.** El **promontorio del sacro,** un abombamiento que sobresale del extremo anterior de la base, facilita una referencia importante en las mujeres para efectuar las exploraciones ginecológicas, y también durante el parto. Las **apófisis articulares superiores** configuran unas articulaciones sinoviales con la última vértebra lumbar. El **conducto sacro** comienza en la zona que hay entre dichas apófisis y recorre toda la longitud del sacro. Los nervios y las membranas que revisten el conducto vertebral rodeando a la médula espinal siguen por el conducto sacro.

Las apófisis espinosas de las cinco vértebras sacras fusionadas forman una serie de elevaciones a lo largo de la **cresta sacra media.** Las láminas de la quinta vértebra sacra no entran en contacto en la línea media, y forman las **astas del sacro.** Estas crestas trazan los límites del **hiato sacro,** al final del conducto sacro. En vida, su orificio está cubierto por tejidos conjuntivos. A ambos lados de la cresta sacra media se encuentran los **agujeros sacros.** Los agujeros intervertebrales, ahora cerrados del todo por la fusión de los huesos sacros, desembocan en estas vías de conducción. Una amplia **ala** del sacro sale en sentido lateral desde cada **cresta sacra lateral.** Las crestas sacras media y lateral ofrecen una superficie para la inserción de los músculos correspondientes a la parte inferior de la espalda y a la cadera.

Desde una perspectiva lateral (v. figura 6.26b), la *curvatura sacra* resulta más patente. Su grado es mayor en los hombres que en las mujeres (v. tabla 7.1, p. 201). En un sentido lateral, la **carilla auricular** del sacro se articula con la cintura pélvica en la **articulación sacroilíaca.** En la parte dorsal a la carilla auricular queda una zona áspera, la **tuberosidad sacra,** que señala la inserción de un ligamento encargado de estabilizar la articulación. La superficie anterior del sacro, o *cara pélvica,* es cóncava (v. figura 6.26c). En el vértice, un territorio aplanado indica el punto de articulación con el cóccix. La forma de cuña que adquiere el sacro maduro sirve como un sólido cimiento para transferir el peso del cuerpo desde el esqueleto de la cabeza y el tronco hacia la cintura pélvica.

Cóccix [v. figura 6.26]

El **cóccix** es un hueso pequeño y consta de tres a cinco vértebras coccígeas (lo más habitual, cuatro) que suelen haber empezado a fusionarse a los 26 años (v. figura 6.26). Su superficie proporciona una zona de inserción para diversos ligamentos y para un músculo destinado a estrechar el orificio anal. Las dos primeras vértebras coccígeas tienen apófisis transversas y arcos vertebrales sin fusionar. Las láminas salientes de la primera vértebra coccígea se conocen como **astas del cóccix;** forman una curva para reunirse con las astas del sacro. Las vértebras coccígeas no acaban de fusionarse hasta una fase tardía en la vida del adulto. En los hombres, el cóccix adulto apunta en un sentido anterior, mientras que en las mujeres lo hace en sentido inferior. En las personas muy ancianas, puede fusionarse con el sacro.

Jaula torácica [v. figura 6.27]

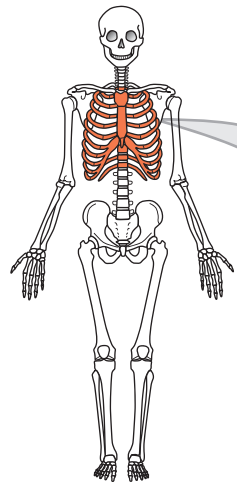
El esqueleto del tórax, o **jaula torácica,** está compuesto por las vértebras torácicas, las *costillas* y el *esternón* (v. figura 6.27a,c). Las **costillas** y el esternón forman la **parrilla costal** y se ocupan de mantener las paredes de la cavidad torácica. Esta cavidad es estrecha en su parte superior, ancha en la inferior y algo aplanada en dirección anteroposterior. La jaula torácica cumple dos funciones:

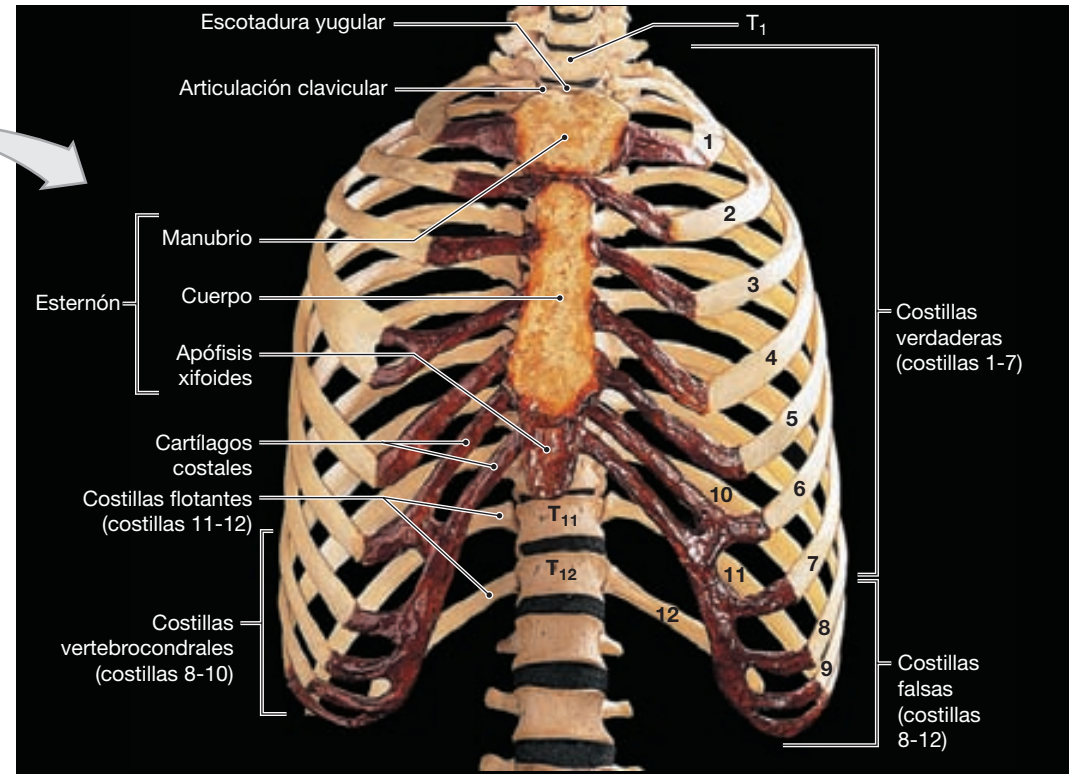
- Protege el corazón, los pulmones, el timo y otras estructuras de la cavidad torácica.
- Sirve como punto de inserción para los músculos implicados en: 1) la respiración; 2) la colocación de la columna vertebral en su posición, y 3) el movimiento de la cintura escapular y de las extremidades superiores.

Costillas [v. figuras 6.24/6.27]

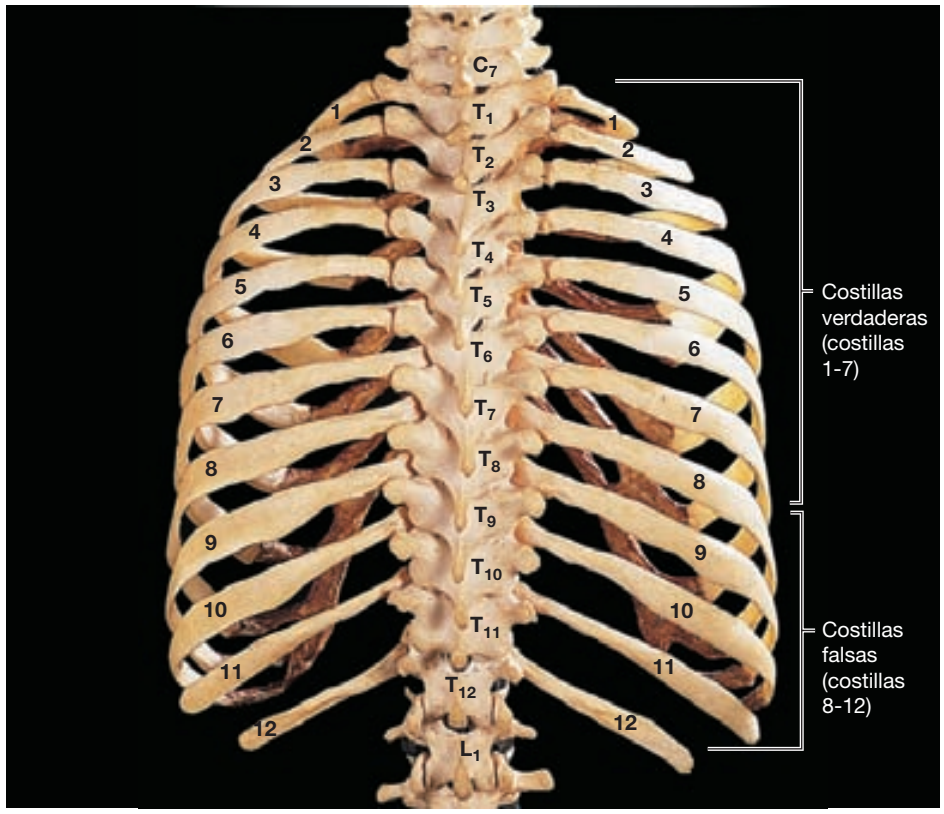
Las **costillas** son unos huesos alargados, curvos y aplanados, que: 1) se originan en las vértebras torácicas o en el espacio que queda entre ellas, y 2) acaban en la pared de la cavidad torácica. Hay 12 pares de costillas (v. figura 6.27). Las siete primeras se denominan **costillas verdaderas,** o *costillas vertebroesternales.* En la pared anterior del tronco están conectadas con el esternón por

Figura 6.27 Jaula torácica
(a) Vista anterior de la parrilla costal y el esternón. **(b)** Vista superior de la articulación entre una vértebra torácica y el extremo vertebral de una costilla derecha. **(c)** Vista posterior de la parrilla costal. **(d)** Vista posterior y medial que ofrece los principales detalles anatómicos presentes en una costilla izquierda aislada (costilla 10).

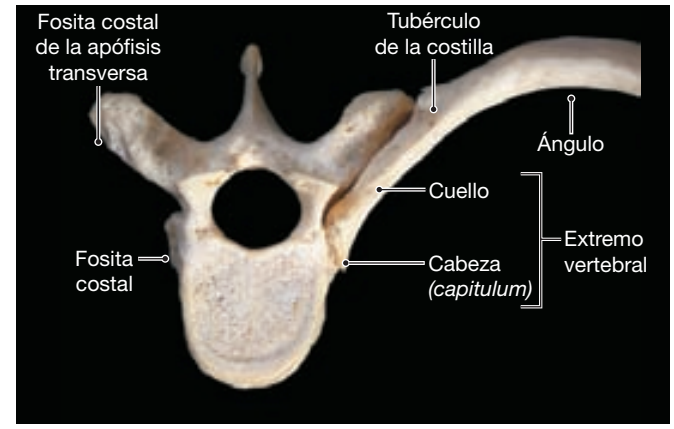




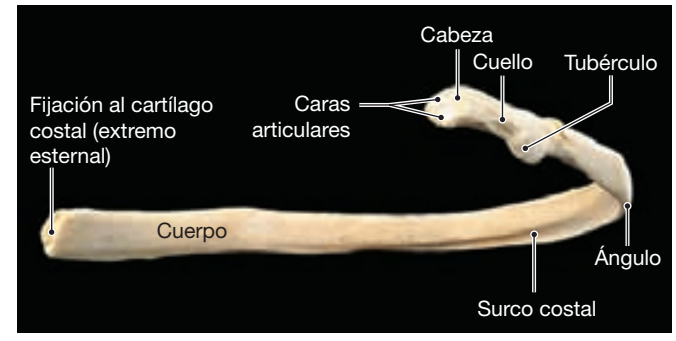
(a) Vista anterior



(c) Vista posterior



(b) Vista superior



(d) Vista posterior

unos cartílagos independientes, los **cartílagos costales.** Partiendo de la primera, las costillas vertebroesternales aumentan poco a poco su longitud y su radio de curvatura.

Las costillas 8-12 reciben el nombre de **costillas falsas** o *costillas vertebrocondrales,* pues se fijan directamente al esternón. Los cartílagos costales de las costillas 8-10 se fusionan entre sí antes de llegar a este hueso (v. figura 6.27a). A los dos últimos pares de costillas a veces se les denomina **costillas flotantes,** porque no entran en contacto con el esternón.

La figura 6.27b muestra la cara superior del *extremo vertebral* de una costilla representativa. La **cabeza** de cada costilla se articula con el cuerpo de una vértebra torácica o con la zona que queda entre los cuerpos vertebrales adyacentes. Después de un **cuello** de corta extensión, el **tubérculo** sobresale en sentido dorsal. Su porción inferior contiene una carilla articular que entra en contacto con la apófisis transversa de la vértebra torácica. Cuando la costilla está articulada entre dos vértebras contiguas, una **cresta interarticular** divide la superficie articular en unas **caras articulares superior** e **inferior** (v. figura 6.27c,d). Las costillas 1 a 10 nacen en las

Nota clínica

Fisuras costales Un jugador de hockey frena golpeándose contra las tablas; otro de baloncesto vuela fuera de los límites del campo para coger un balón perdido y choca contra la primera fila de asientos; un receptor de fútbol americano sufre un gran golpe tras coger un pase en la línea media. Los impactos bruscos sobre el tórax como los citados son relativamente frecuentes, y las costillas suelen llevarse toda la fuerza de la colisión.

Las costillas están formadas por hueso esponjoso que lleva un fino recubrimiento externo de hueso compacto. Se encuentran unidas con firmeza mediante tejido conjuntivo y conectadas entre sí por capas de músculo. Por esta razón, las fracturas desplazadas son poco frecuentes y los traumatismos costales suelen consolidar con rapidez y eficacia. Si la lesión es de extrema intensidad, la costilla rota puede verse empujada contra la cavidad torácica y dañar los órganos internos. La entrada de aire en una de las cavidades pleurales, proceso denominado **neumotórax,** puede provocar una atelectasia pulmonar. La afectación de un vaso sanguíneo o hasta del corazón puede generar una hemorragia en la cavidad torácica, situación llamada hemotórax. Los **hemotórax** también pueden perturbar el funcionamiento pulmonar debido a la acumulación de líquido y a la compresión de un pulmón.

fositas costales de los cuerpos de las vértebras T_1 a T_{10}, y sus caras articulares del tubérculo se articulan con las fositas costales de las apófisis transversas de sus vértebras respectivas. Las costillas 11 y 12 se originan en las fositas costales de T_{11} y T_{12}, pero no tienen caras articulares del tubérculo ni se articulan con las apófisis transversas. Las diferencias en la orientación de las distintas costillas y en su articulación con la columna vertebral pueden verse al comparar la **figura 6.24**, de la p. 166, y con la **6.27c,d**.

La curva, o **ángulo,** de la costilla indica el lugar donde su **cuerpo** tubular, o *diáfisis,* empieza a girar hacia el esternón. La superficie interna de la costilla es cóncava y en ella destaca un **surco costal** prominente que recorre su borde inferior y señala el camino seguido por los nervios y los vasos sanguíneos. La cara superficial es convexa y ofrece un área de inserción para los músculos de la cintura escapular y el tronco. Los *músculos intercostales* que mueven las costillas se insertan sobre sus superficies superior e inferior.

Teniendo en cuenta su compleja musculatura, las articulaciones dobles que establecen con las vértebras y su conexión flexible al esternón, las costillas son bastante móviles. Observe que al apartarse de la columna vertebral, giran para formar un ángulo hacia abajo. Desde el punto de vista funcional, una costilla típica actúa como si fuera el asa de un cubo, situado justo por debajo del plano horizontal. Si se le empuja hacia abajo, rota hacia dentro; si se tira hacia arriba, pivota hacia fuera. Además, debido a la curvatura de las costillas, estos mismos movimientos cambian la posición del esternón. El descenso de las costillas lo desplaza en sentido posterior (hacia dentro), mientras que su elevación lo lleva en sentido anterior (hacia fuera). Como consecuencia, los movimientos de las costillas repercuten sobre la anchura y la profundidad de la jaula torácica, al aumentar o disminuir su volumen en consonancia.

Esternón [v. figura 6.27a]

El **esternón** adulto es un hueso plano que se forma en la parte anterior de la pared torácica en la zona de su línea media (**v. figura 6.27a**). Este hueso tiene tres componentes:

- Un amplio **manubrio** triangular, que se articula con las *clavículas* del esqueleto de las extremidades y con los cartílagos costales del primer par de costillas. El manubrio es la porción más ancha y superior del esternón. La **escotadura yugular** es la hendidura poco profunda que hay en su cara superior, y está situada entre las articulaciones claviculares.
- Un **cuerpo,** que tiene forma de lengua, está fijado a la cara inferior del manubrio y se extiende en sentido caudal a lo largo de la línea media. Cada uno de los cartílagos costales de los pares de costillas 2-7 está unido a esta porción esternal. Los pares 8-10 también se encuentran sujetos al cuerpo, pero todos ellos comparten un único par de cartílagos con el par de costillas 7.
- Una **apófisis xifoides,** la parte más pequeña del esternón, que se fija a la cara inferior del cuerpo. El *diafragma* muscular y el *músculo recto del abdomen* se insertan en la apófisis xifoides.

La osificación del esternón comienza a partir de 6 a 10 centros diferentes y su fusión no acaba hasta los 25 años, como mínimo. Antes de esa edad, el cuerpo esternal consta de cuatro huesos independientes. Sus límites pueden detectarse por una serie de líneas transversales que cruzan el esternón del adulto. La apófisis xifoides suele ser el último componente esternal que sufre su osificación y fusión. La conexión que tiene con el cuerpo del esternón puede romperse por un golpe o si se ejerce una gran presión, lo que crea una astilla ósea capaz de dañar seriamente el hígado. Para reducir las probabilidades de que esto suceda, hay que hacer un gran hincapié en la colocación correcta de la mano durante el proceso preparatorio para la reanimación cardiopulmonar (RCP).

Nota clínica

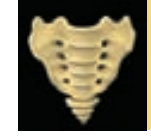
La jaula torácica y las intervenciones quirúrgicas La cirugía del corazón, los pulmones u otros órganos del tórax muchas veces supone entrar en la cavidad torácica. La movilidad de las costillas y de sus conexiones cartilaginosas con el esternón permite retirarlas de la vía de entrada elegida. Para ello, se emplean unos separadores costales especiales, que las apartan básicamente siguiendo el mismo procedimiento que un gato al elevar un coche del suelo para cambiar un neumático. Si hiciera falta una vía de acceso más amplia, pueden cortarse los cartílagos esternales y rebatir todo el esternón para hacer sitio. Una vez devueltos a su posición, los cartílagos vuelven a unirse mediante tejido cicatricial y las costillas consolidan con bastante rapidez.

Tras la cirugía del tórax, pueden dejarse puestas unas **sondas pleurales** que atraviesen la pared torácica y permitan el drenaje de los líquidos. Para instalar una sonda pleural u obtener una muestra de líquido pleural, debe atravesarse la pared del tórax. Este proceso, llamado **toracocentesis,** implica la penetración de la pared torácica a lo largo del borde superior de una de las costillas. La elección de este lugar evita la lesión de los vasos y nervios contenidos en el surco costal.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Joe sufrió una fisura en la base de la apófisis odontoides. ¿Qué hueso está roto y dónde lo va a encontrar?
2. ¿La realización indebida de la RCP (reanimación cardiopulmonar) podría traducirse en una fractura de qué hueso?
3. ¿Cuáles son las cinco regiones vertebrales? ¿Cuáles son los rasgos que sirven para identificar cada una?
4. Enumere las curvaturas vertebrales en orden desde arriba hacia abajo.

Véase «Respuestas» al final del libro.



TÉRMINOS CLÍNICOS

cifosis: Exageración anormal de la curvatura torácica, que produce una espalda de aspecto «encorvado».

craneoestenosis: Cierre prematuro de una sutura o de varias, que puede dar lugar a deformaciones atípicas del cráneo.

desviación del tabique nasal: Tabique nasal torcido, que puede ralentizar o impedir el drenaje de los senos.

escoliosis: Curvatura anormal de la columna hacia un lado.

espina bífida: Proceso resultante de un fallo en la unión de las láminas vertebrales durante el desarrollo; suele asociarse a otras alteraciones congénitas del encéfalo y la médula espinal.

hemotórax: Hemorragia hacia la cavidad torácica.

latigazo: Lesión resultante de un cambio repentino de posición corporal, que puede lesionar las vértebras cervicales.

lordosis: Curvatura lumbar anormal que da un aspecto «envarado».

microcefalia: Cabeza más pequeña de lo normal, a raíz de una alteración genética o del desarrollo.

neumotórax: Entrada de aire en la cavidad pleural.

sinusitis: Inflamación y congestión de los senos paranasales.

sonda pleural: Tubo de drenaje instalado tras una intervención torácica, que permite la extracción de sangre y líquido pleural.

toracocentesis: Penetración de la pared torácica a lo largo del borde superior de una de las costillas.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 134

1. El sistema óseo consta del esqueleto de la cabeza y el tronco y el esqueleto de las extremidades. El **esqueleto de la cabeza y el tronco** puede subdividirse en el cráneo más los huesos asociados (los **huesecillos del oído** y el **hueso hioides**), la **columna vertebral** y la **jaula torácica,** compuesta por las **costillas** y el **esternón** *(v. figura 6.1)*.
2. El **esqueleto de las extremidades** incluye las **cinturas escapular** y **pélvica,** que sostienen y fijan las extremidades superior e inferior al tronco *(v. figura 6.1)*.

Cráneo y otros huesos asociados 135

1. Consta del *cráneo* y los *huesos de la cara*. Los huesos craneales protegen el encéfalo y resguardan la entrada de los aparatos digestivo y respiratorio. Ocho huesos craneales forman el **cráneo,** que encierra la **cavidad craneal,** una división de la cavidad corporal dorsal. Los **huesos faciales** protegen y mantienen las entradas a los aparatos respiratorio y digestivo *(v. figuras 6.2 a 6.15 y tablas 6.1/6.2)*.
2. Las referencias superficiales más llamativas en el cráneo abarcan las suturas **lambdoidea, sagital, coronal, escamosa** y **frontonasal.** Las **suturas** son articulaciones inmóviles que forman los límites entre los huesos del cráneo *(v. figura 6.3a-d y tablas 6.1/6.2)*.

Huesos del cráneo 142

3. Para consultar las articulaciones de los huesos craneales con otros huesos del cráneo y/o de la cara, *véase la tabla 6.2*.
4. El **hueso occipital** forma parte de la base del cráneo. Se sitúa rodeando al **agujero magno** e interviene en la pared del **agujero yugular** *(v. figuras 6.3a-c,e/6.6a,b)*.
5. Los **huesos parietales** forman parte de las caras superior y lateral del cráneo *(v. figuras 6.3b,c/6.5/6.6c)*.
6. El **hueso frontal** forma la frente y el techo de las órbitas *(v. figuras 6.3b-d/6.5/6.7)*.
7. El **hueso temporal** forma parte de la pared del agujero yugular y alberga el **conducto carotídeo.** Su gruesa **porción petrosa** aloja la cavidad timpánica que contiene los **huesecillos del oído.** Estos huesecillos transmiten las vibraciones sonoras desde la membrana del tímpano hasta una cavidad llena de líquido en el oído interno *(v. figuras 6.3c-e/6.8/18.10)*.
8. El **esfenoides** participa en la base del cráneo. Ejerce como un puente entre los huesos del cráneo y los de la cara. Los **nervios ópticos** atraviesan el **conducto óptico** del esfenoides para llegar al encéfalo. Las **apófisis pterigoides** forman unas **láminas** que sirven como zonas para la inserción de los músculos encargados de mover la mandíbula y el paladar blando *(v. figuras 6.3c-e/6.4/6.9)*.
9. El **etmoides** es un hueso de forma irregular que toma parte en la pared orbitaria y en el techo de la cavidad nasal. La **lámina cribosa** contiene perforaciones para los nervios olfativos. La **lámina perpendicular** participa en el *tabique nasal (v. figuras 6.3d/6.4/6.5/6.10)*.
10. Las **fosas craneales** son unas depresiones en curva situadas en el suelo del cráneo, que siguen fielmente la forma del encéfalo. La **fosa craneal anterior** está integrada por el hueso frontal, el etmoides y las **alas menores** del esfenoides. La **fosa craneal media** está constituida por el hueso esfenoides y los huesos temporales y parietales. La **fosa craneal posterior** está compuesta básicamente por el hueso occipital, con alguna aportación de los huesos temporales y parietales *(v. figura 6.11)*.

Huesos de la cara 148

11. Para consultar las articulaciones de los huesos faciales con otros huesos de la cara y/o del cráneo, *véase la tabla 6.2*.
12. Los **maxilares** izquierdo y derecho, o *huesos maxilares,* son los más grandes de la cara y forman el maxilar superior *(v. figuras 6.3d/6.12)*.
13. Los **huesos palatinos** son pequeños huesos en forma de «L» que configuran la porción posterior del paladar duro e intervienen en el suelo de la órbita *(v. figuras 6.3e/6.13)*.
14. Los dos **huesos nasales** se articulan con el hueso frontal en la línea media y con los cartílagos que constituyen el borde superior de las **narinas externas** *(v. figuras 6.3c,d/6.15/6.16)*.
15. Existe un **cornete nasal inferior** situado a cada lado del **tabique nasal,** y unido a la pared lateral de la cavidad nasal. Estos huesos aumentan la superficie epitelial y crean turbulencias en el aire inspirado. Los cornetes superior y medio del etmoides cumplen las mismas funciones *(v. figuras 6.3d/6.16)*.
16. La **apófisis temporal** del **hueso cigomático** se articula con la **apófisis cigomática** del hueso temporal para formar el **arco cigomático** *(hueso de la mejilla) (v. figuras 6.3c,d/6.15)*.
17. Los dos **huesos lagrimales** son los más pequeños del cráneo. Están situados en la porción medial de cada órbita. Cada uno forma un **surco lagrimal** con el maxilar adyacente, que conduce a un **conducto nasolagrimal** encargado de llevar las lágrimas hasta la cavidad nasal *(v. figuras 6.3c,d/6.16)*.
18. El **vómer** forma la porción inferior del tabique nasal. Tiene su base en el suelo de la cavidad nasal y se articula con los dos maxilares y con los dos huesos palatinos a lo largo de la línea media *(v. figuras 6.3c,d/6.5/6.16)*.
19. La **mandíbula** forma todo el maxilar inferior. Se articula con el hueso temporal en la *articulación temporomandibular* (ATM) *(v. figuras 6.3c,d/6.14)*.

Complejo orbitario y macizo nasal 151

20. Siete huesos forman el **complejo orbitario,** una cavidad ósea que contiene el ojo: los huesos frontal, lagrimales, palatinos, cigomáticos, etmoides, esfenoides y maxilares *(v. figura 6.16)*.
21. El **macizo nasal** comprende los huesos y cartílagos que encierran las cavidades nasales, más los **senos paranasales.** Los senos paranasales son unas vías aéreas huecas que comunican con las vías de conducción nasales. Hay grandes senos paranasales en los huesos frontal, esfenoides, etmoides y maxilares *(v. figuras 6.5/6.16)*.

Hueso hioides 154

22. El **hueso hioides,** suspendido por los **ligamentos estilohioideos,** consta de un **cuerpo,** unas **astas mayores** y unas **astas menores.** El hueso hioides sirve de base para varios músculos que tienen que ver con los movimientos de la lengua y de la laringe *(v. figura 6.17)*.

Cráneo de los recién nacidos, los niños y los adultos 158

1. Las conexiones fibrosas de las **fontanelas** permiten que siga creciendo el cráneo de los recién nacidos y los niños *(v. figura 6.18)*.

Columna vertebral 158

1. La **columna vertebral** del adulto consta de 26 huesos (24 *vértebras* independientes, el *sacro* y el *cóccix)*. Hay siete *vértebras cervicales* (la primera se articula con el hueso occipital*),* 12 *vértebras torácicas* (que se articulan con las costillas) y cinco *vértebras lumbares* (la quinta se articula con el *sacro)*. El sacro y el cóccix están compuestos por vértebras fusionadas *(v. figuras 6.19 a 6.26)*.

Curvaturas vertebrales 159

2. La columna vertebral tiene cuatro **curvaturas vertebrales:** las **curvaturas torácica** y **sacra** se denominan **curvaturas primarias** o **de capacidad;** las **curvaturas lumbar** y **cervical** se conocen como **curvaturas secundarias** o **de compensación** *(v. figura 6.19)*.

Anatomía vertebral 161

3. Una vértebra típica tiene un **cuerpo** grueso de sostén, o *centro;* un **arco vertebral (arco neural)** formado por paredes **(pedículos)** y un techo **(lámina)** que deja espacio para la médula espinal; y se articula con otras vértebras a través de las **apófisis articulares superior** e **inferior** *(v. figura 6.21)*.
4. Las vértebras contiguas están separadas por **discos intervertebrales.** Los espacios que quedan entre los pedículos consecutivos forman los **agujeros intervertebrales,** por los que entran y salen los nervios de la médula espinal *(v. figura 6.21)*.

Regiones vertebrales 162

5. Las **vértebras cervicales** se distinguen por la forma del cuerpo vertebral, el tamaño relativo del agujero vertebral, la presencia de **apófisis costales** con **agujeros transversos** y las **apófisis espinosas** bífidas *(v. figuras 6.19/6.22/6.23 y tabla 6.3)*.
6. Las **vértebras torácicas** tienen un cuerpo característico con forma de corazón; apófisis espinosas largas y delgadas; y articulaciones para las costillas *(v. figuras 6.19/6.24)*.
7. Las **vértebras lumbares** son las más grandes y las menos móviles; se encuentran sometidas a los mayores esfuerzos *(v. figuras 6.19/6.25)*.
8. El **sacro** protege los órganos genitales, digestivos y excretores. Tiene una **carilla auricular** para su articulación con la cintura pélvica. El sacro se articula con los elementos fusionados del **cóccix** *(v. figura 6.26)*.

Jaula torácica 168

1. El esqueleto de la **jaula torácica** está compuesto por las *vértebras torácicas,* las *costillas* y el *esternón.* Las costillas y el esternón forman la **parrilla costal** *(v. figura 6.27a,c)*.

Costillas 168

2. Las **costillas** 1-7 son **costillas verdaderas,** o *vertebroesternales.* Las costillas 8-12 se llaman **costillas falsas,** o *vertebrocondrales.* Los dos últimos pares de costillas son las **costillas flotantes.** El *extremo vertebral* de una costilla típica se articula con la columna vertebral mediante la **cabeza.** Después de un **cuello** de corta extensión, el **tubérculo** sobresale en sentido dorsal. Una curva, o **ángulo,** de la costilla indica el lugar donde su **cuerpo** tubular, o **diáfisis,** empieza a girar hacia el esternón. Un llamativo **surco costal** inferior señala el camino seguido por los nervios y los vasos sanguíneos *(v. figuras 6.24/6.27)*.

Esternón 170

3. El **esternón** consta de un **manubrio,** un **cuerpo** y una **apófisis xifoides** *(v. figura 6.27a)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	**Columna B**
___ 1. sutura	a. mandíbula
___ 2. agujero magno	b. límite entre los huesos del cráneo
___ 3. apófisis mastoides	c. maxilares
___ 4. conducto óptico	d. vértebras cervicales
___ 5. apófisis crista galli	e. hueso occipital
___ 6. apófisis condílea	f. esternón
___ 7. agujero transverso	g. vértebras torácicas
___ 8. fositas costales	h. hueso temporal
___ 9. manubrio	i. etmoides
___ 10. maxilar superior	j. esfenoides

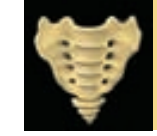
11. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre el etmoides es verdadera?
    (a) contiene la apófisis *crista galli*
    (b) contiene la lámina cribosa
    (c) sirve de fijación anterior a la hoz del cerebro
    (d) todas las anteriores

12. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones se aplica a la silla turca?
    (a) sostiene y protege la hipófisis
    (b) está directamente delimitada por el agujero espinoso en su parte lateral
    (c) lo mismo que pasa con la apófisis mastoides y las celdillas neumáticas, no se forma hasta después del parto
    (d) permite el paso de los nervios ópticos

13. La mandíbula se articula con el hueso temporal en la:
    (a) fosa mandibular
    (b) apófisis mastoides
    (c) apófisis clinoides superior
    (d) lámina cribosa

14. El hueso hioides:
    (a) sirve como base de inserción para los músculos que mueven la lengua
    (b) forma parte de la mandíbula
    (c) ocupa una situación inferior a la laringe
    (d) se articula con los maxilares

15. La estructura vertebral que tiene un pedículo y una lámina, y de la que sale la apófisis espinosa, es:
    (a) el centro
    (b) la apófisis transversa
    (c) la apófisis articular inferior
    (d) el arco vertebral



16. La función de las fontanelas consiste en:
    (a) permitir la compresión del cráneo durante el parto
    (b) servir como centros de osificación para los huesos de la cara
    (c) ejercer como láminas óseas definitivas del cráneo
    (d) aligerar el peso de los huesos del cráneo

17. El sacro:
    (a) ofrece protección a los órganos genitales, digestivos y excretores
    (b) soporta la mayor parte del peso en la columna vertebral
    (c) se articula con la cintura escapular
    (d) está compuesto por unas vértebras fusionadas del todo al llegar a la pubertad

18. Las paredes laterales del agujero vertebral están formadas por:
    (a) el cuerpo de la vértebra
    (b) la apófisis espinosa
    (c) los pedículos
    (d) las láminas

19. La porción del esternón que se articula con las clavículas es:
    (a) el manubrio
    (b) el cuerpo
    (c) la apófisis xifoides
    (d) el ángulo

20. El surco llamativo que recorre el borde inferior de la superficie costal interna:
    (a) ofrece inserción a los músculos intercostales
    (b) se denomina surco costal
    (c) señala el camino seguido por los nervios y los vasos sanguíneos
    (d) b y c son correctas

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Las curvaturas vertebrales primarias:
    (a) también se denominan curvaturas de compensación
    (b) incluyen la curvatura lumbar
    (c) surgen varios meses después del parto
    (d) alojan las vísceras torácicas y pélvicas

2. Si desciende desde el atlas, observará que el espacio libre para alojar la médula espinal es mayor en C_1. ¿Qué función cumpliría este espacio más amplio?

3. ¿Qué relación guarda la hipófisis con el hueso esfenoides?

4. Las curvaturas secundarias de la columna vertebral surgen varios meses después del parto. Con su aparición, desvían el peso del tronco sobre las piernas. ¿Qué es lo que ayuda a llevar a cabo este cambio?

5. Describa la relación entre el ligamento nucal y el esqueleto de la cabeza y el tronco en lo que atañe al mantenimiento de la cabeza en posición vertical.

6. Comente los factores que pueden provocar un aumento en la producción de moco por las mucosas de los senos paranasales.

7. ¿Por qué los cuerpos vertebrales más grandes se localizan en la región lumbar?

8. ¿Cuál es la relación entre el hueso temporal y el oído?

9. ¿Para qué sirven los abundantes orificios pequeños que hay en la lámina cribosa del etmoides?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Elise llega al último mes de la gestación y sufre dolores en la parte inferior de la espalda. Dado que el exceso de peso se sitúa delante de su cuerpo, se pregunta por qué le duele atrás. ¿Qué le diría?

2. Jeff se enzarza en una pelea desencadenada durante un espectáculo deportivo y le rompen la nariz. Después de su curación, empieza a sentir cefaleas sinusales y molestias en la zona de los maxilares. ¿Cuál es la causa más probable del malestar de Jeff?

3. Entre los síntomas del catarro o de la gripe figura el dolor de todos los dientes maxilares, incluso aunque no les pase nada, así como una sensación de peso delante de la cabeza. ¿Qué respuesta anatómica a la infección genera estas sensaciones desagradables?

4. Se dice que una modelo es muy fotogénica y se le alaba a menudo por sus pómulos elevados y sus grandes ojos. ¿Estas características tendrían una base anatómica o podrían explicarse de otro modo?

7

Sistema óseo

Extremidades

Introducción 175

Cintura escapular y extremidad superior 176

Cintura pélvica y extremidad inferior 186

Variabilidad individual en el sistema óseo 200

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Enumerar los huesos de la cintura escapular y la extremidad superior y señalar sus rasgos superficiales más destacados.
2. Identificar los huesos que forman la cintura pélvica y la extremidad inferior y exponer sus rasgos superficiales más destacados.
3. Examinar las diferencias estructurales y funcionales entre la pelvis de una mujer y la de un hombre.
4. Explicar por qué el estudio del esqueleto puede revelar información importante sobre un individuo.
5. Resumir las diferencias óseas entre hombres y mujeres.
6. Describir con brevedad la repercusión que ejerce el proceso de envejecimiento sobre el sistema óseo.

Si elabora una lista con las cosas que haya hecho hoy, verá que el esqueleto de las extremidades ocupa un lugar importante en su vida. Estar de pie, caminar, escribir, comer, vestirse, estrechar una mano y pasar las páginas de un libro; la lista crece sin cesar. El esqueleto de la cabeza y el tronco protege y sostiene los órganos internos y participa en funciones vitales, como la respiración, mientras que el de las extremidades le permite controlar el entorno, cambiar la posición en el espacio y moverse.

El **esqueleto de las extremidades** incluye los huesos de los miembros superior e inferior y sus elementos de apoyo, llamados *cinturas,* que los ponen en conexión con el tronco (**v. figura 7.1**). Este capítulo describe los huesos que forman el esqueleto de las extremidades. Igual que en el capítulo 6, su exposición insiste en las características superficiales que tienen importancia funcional y hace hincapié en las interacciones entre el sistema óseo y otros sistemas. Por ejemplo, muchos de los rasgos anatómicos señalados en este capítulo corresponden a las áreas de inserción para los músculos estriados o a los orificios para el paso de los nervios y vasos sanguíneos que abastecen a los huesos y otros órganos del cuerpo.

Existen unas conexiones anatómicas directas entre los sistemas óseo y muscular. Tal como se señaló en el capítulo 5, el tejido conjuntivo de la fascia profunda que rodea a un músculo estriado se continúa con el de su tendón, se

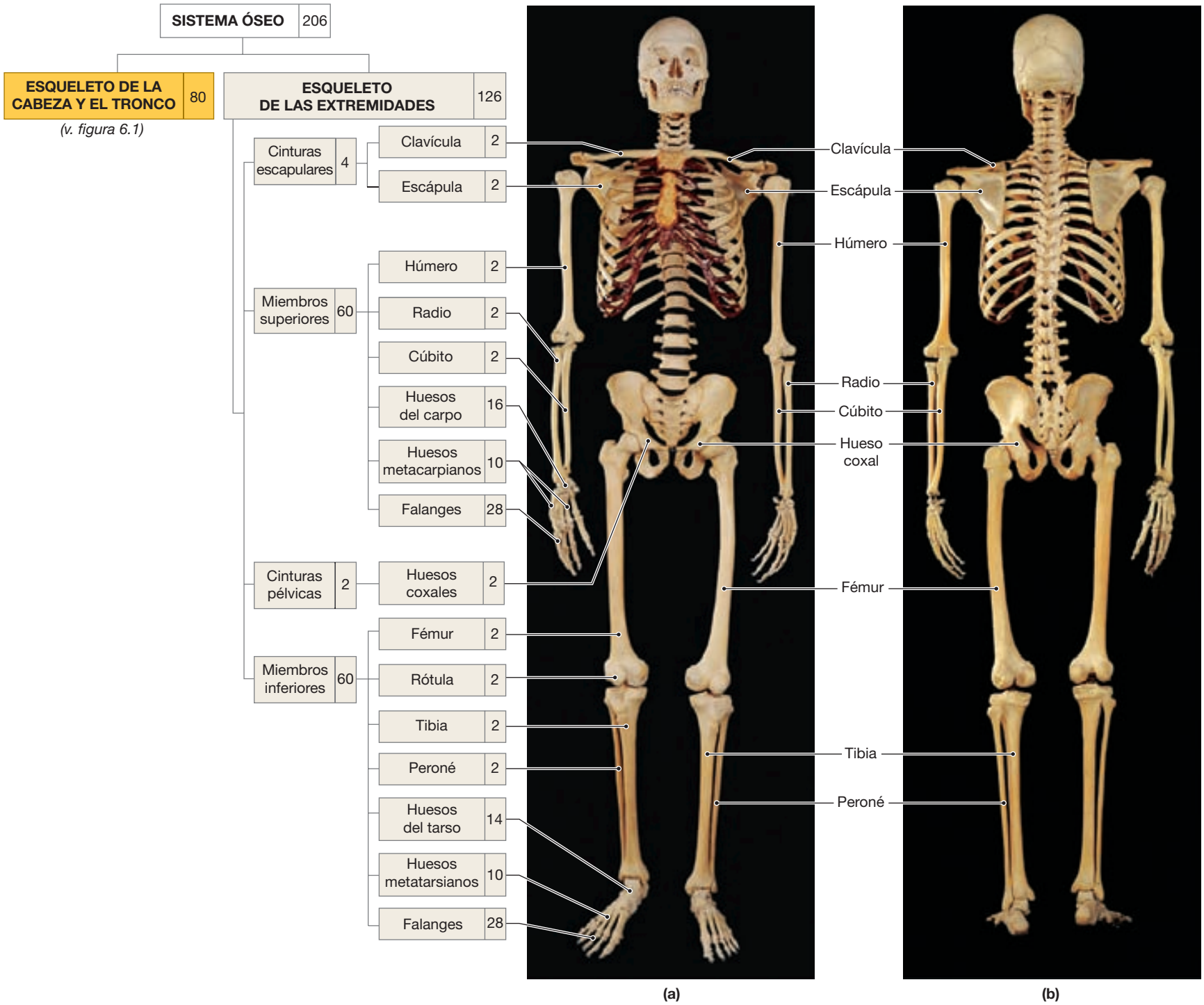


Figura 7.1 Esqueleto de las extremidades
Diagrama que muestra la relación entre los elementos óseos de las extremidades: las cinturas escapular y pélvica, y los miembros superior e inferior. **(a)** Vista anterior del esqueleto, tras resaltar los componentes de las extremidades. El número de cada casilla indica la cantidad total de huesos de ese tipo o categoría que hay en el esqueleto del adulto. **(b)** Vista posterior del esqueleto.

sigue del periostio y acaba por formar parte de la matriz ósea en su punto de inserción [pp. 116-117]. Los músculos y los huesos también poseen unos vínculos fisiológicos entre sí, pues las contracciones musculares sólo pueden tener lugar cuando las concentraciones extracelulares de calcio permanecen dentro de unos límites relativamente estrechos. El esqueleto contiene la mayor parte del calcio corporal y estas reservas resultan vitales para su homeostasis.

Cintura escapular y extremidad superior [v. figura 7.2]

Cada brazo se articula con el tronco en la **cintura escapular,** o *cintura del hombro.* La cintura escapular está compuesta por la *clavícula,* un hueso con forma de «S», y la *escápula (omóplato),* que es ancha y plana, tal como se observa en la figura 7.2. La clavícula se articula con el manubrio del esternón y este es el *único* punto de contacto directo entre la cintura escapular y el esqueleto de la cabeza y el tronco. Los músculos estriados son los que sostienen y ponen la escápula en su posición, pues este hueso carece de conexiones óseas o ligamentosas con la jaula torácica. Cada una de las extremidades superiores está compuesta por el *brazo,* el *antebrazo,* la muñeca y la mano. Su esqueleto lo forma el *húmero* del brazo, el *cúbito* y el *radio* del antebrazo, los *huesos carpianos* del *carpo* (muñeca) y los *huesos metacarpianos* y las *falanges* de la mano.

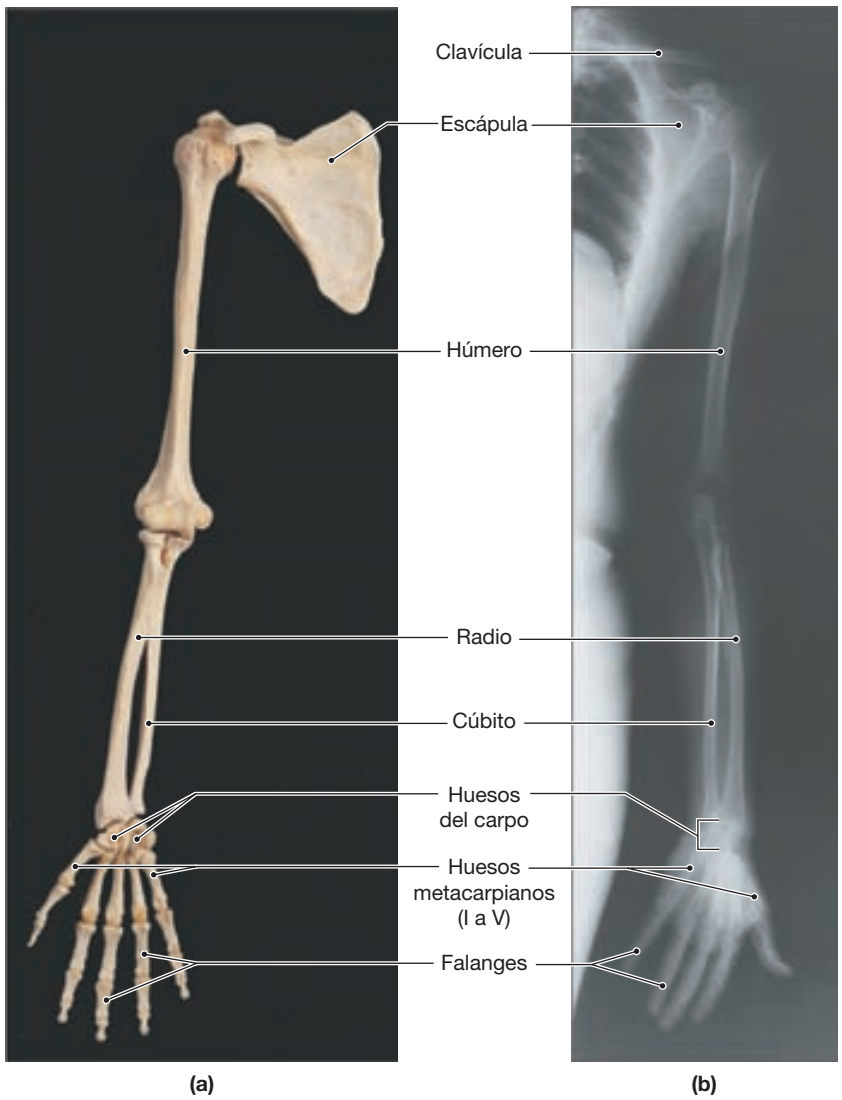


Figura 7.2 Cintura escapular y extremidad superior
Cada miembro superior se articula con el esqueleto de la cabeza y el tronco a nivel de este último mediante la cintura escapular. **(a)** Extremidad superior derecha, vista anterior. **(b)** Radiografía de la cintura escapular y la extremidad superior derechas, proyección posterior.

Cintura escapular

Los movimientos de la clavícula y la escápula ponen la articulación del hombro en posición y ofrecen una base para realizar los movimientos del brazo. Una vez colocada la articulación del hombro, los músculos que se originan en la cintura escapular sirven para mover la extremidad superior. Por tanto, las superficies de la clavícula y de la escápula son importantísimas como zonas de inserción muscular. En los lugares donde se fijan los músculos principales, dejan una huella, lo que crea crestas y pestañas óseas. Otras señales presentes en los huesos, como los surcos o los agujeros, indican la ubicación de los nervios o los vasos sanguíneos que controlan los músculos y alimentan los músculos y los huesos.

Clavícula [v. figuras 7.3/7.4]

La **clavícula** (v. figura 7.3) conecta la cintura escapular con el esqueleto de la cabeza y el tronco. Además, asegura el hombro y transmite una parte del peso de la extremidad superior al esqueleto del tronco. Cada clavícula se origina en el borde craneolateral del manubrio esternal, en una zona lateral a la escotadura yugular (v. figura 6.27a, [p. 169] y figura 7.4). Desde su **extremo esternal** de forma más o menos piramidal, la clavícula realiza una curva lateral y dorsal en forma de «S» hasta articularse con el acromion de la escápula. Este **extremo acromial** es más ancho y plano que el esternal.

La cara superior de la clavícula es lisa y queda justo profunda a la piel; la inferior de su extremo acromial es rugosa y está surcada por unas líneas salientes y unos tubérculos que indican los lugares de inserción para los músculos y los ligamentos. El **tubérculo conoideo** está en la superficie inferior del extremo acromial, y la **tuberosidad costal** en el extremo esternal. Estas dos áreas son zonas de inserción para los ligamentos del hombro.

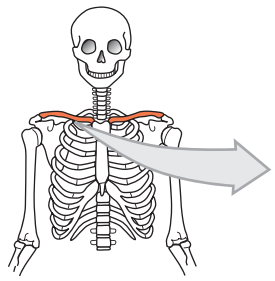
La interacción entre la escápula y la clavícula puede explorarse sin problemas. Después de poner los dedos sobre la *escotadura yugular,* se localizan las clavículas a ambos lados [p. 169]. Al mover los hombros, puede palparse su cambio de posición. Al estar tan cerca de la piel, es posible seguir su recorrido en sentido lateral hasta llegar a la articulación con la escápula. Los movimientos del hombro se encuentran limitados por la posición que adopte la clavícula en la *articulación esternoclavicular,* tal como se observa en la figura 7.4.

La estructura de esta articulación se describirá en el capítulo 8. Las fracturas de la clavícula en su porción medial son frecuentes, porque las caídas con el brazo extendido apoyando la palma de la mano producen fuerzas de compresión que se transmiten hasta el hueso y su articulación con el manubrio. Afortunadamente, estas roturas suelen consolidar con rapidez sin escayolar.

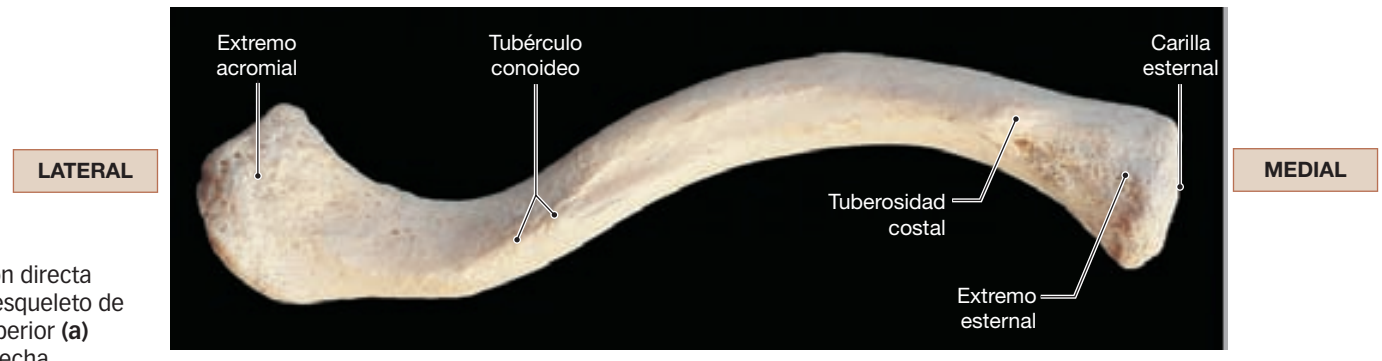
Escápula [v. figuras 7.4/7.5]

El **cuerpo** de la **escápula** forma un triángulo amplio que presenta numerosas marcas en su superficie como manifiestación de la inserción de músculos, tendones y ligamentos (v. figura 7.5a,d). Los tres lados del triángulo escapular son el **borde superior;** el **borde medial,** o *vertebral;* y el **borde lateral,** o *axilar* (*axilla,* axila). Los músculos que sitúan la escápula en su posición se insertan a lo largo de estos bordes. Los ángulos del triángulo escapular se denominan **ángulo superior, ángulo inferior** y **ángulo lateral.** El ángulo lateral, o *cabeza* de la escápula, configura una amplia eminencia sobre la que se apoya la **cavidad glenoidea,** o *fosa glenoidea,* que tiene forma de copa. A través de la cavidad glenoidea, la escápula se articula con el extremo proximal del *húmero,* el hueso correspondiente al brazo. Esta articulación es la **articulación glenohumeral** o **articulación del hombro.** El ángulo lateral está separado del cuerpo de la escápula por un **cuello** redondeado. La **fosa subescapular,** cuya superficie es cóncava y relativamente lisa, ocupa la cara anterior de la escápula en su mayor parte.

Dos grandes apófisis salen del borde superior de la cavidad glenoidea, por encima de la cabeza del húmero. La prolongación anterior más pequeña es la **apófisis coracoides** (*korakodes,* parecido al pico de un cuervo). Este saliente adopta una dirección anterior y un poco lateral, y sirve como zona de inserción para la cabeza corta del *músculo bíceps braquial,* que resulta

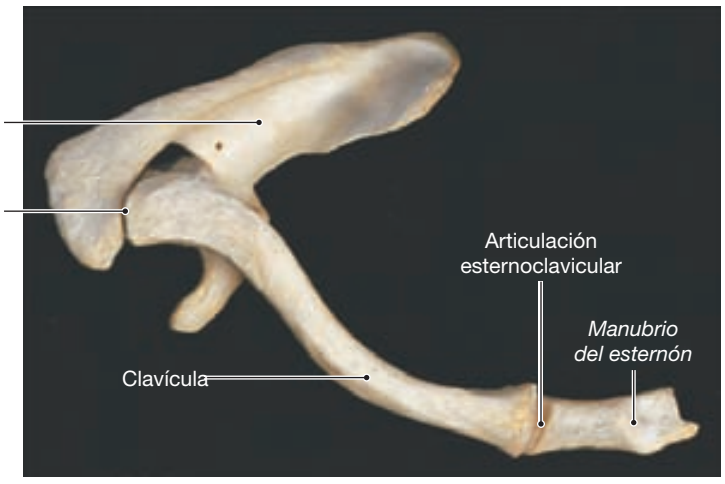


(a) Vista superior

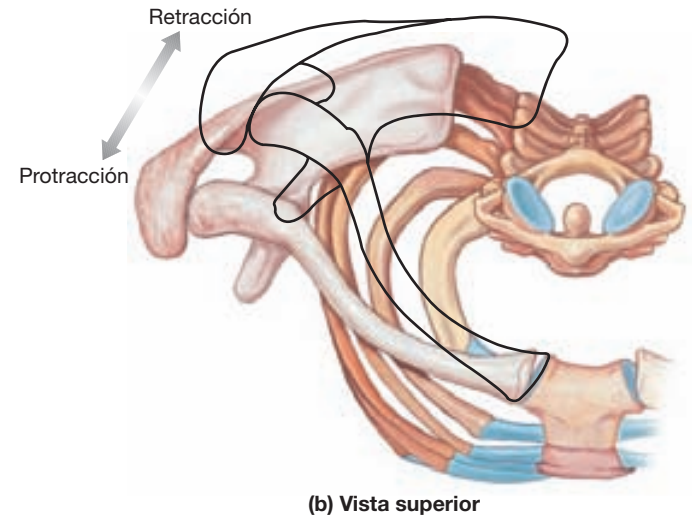


(b) Vista inferior

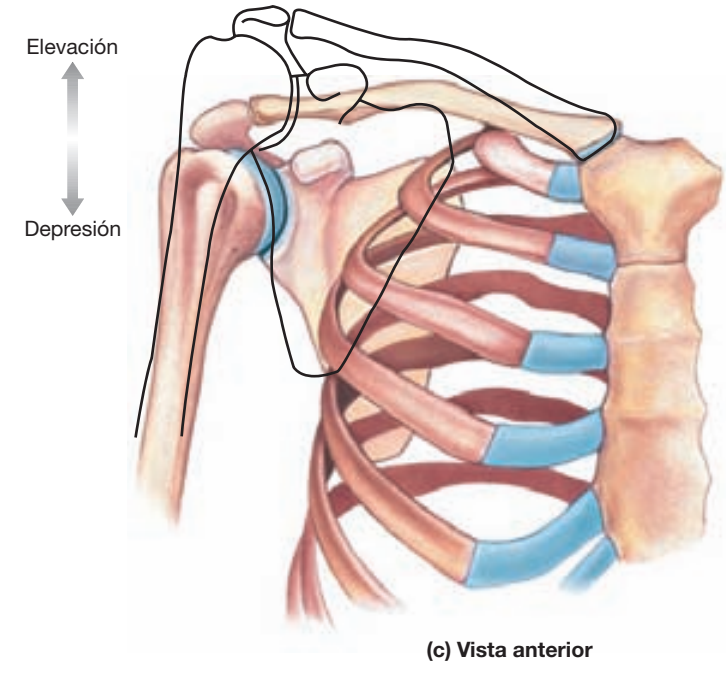
Figura 7.3 Clavícula
La clavícula es la única conexión directa entre la cintura escapular y el esqueleto de la cabeza y el tronco. Vistas superior **(a)** e inferior **(b)** de la clavícula derecha.



(a) Huesos de la cintura escapular derecha, vista superior



(b) Vista superior



(c) Vista anterior

Figura 7.4 Movilidad de la cintura escapular
Representación esquemática sobre los movimientos normales de la cintura escapular. **(a)** Huesos de la cintura escapular derecha. **(b)** Cambios en la posición del hombro derecho que suceden durante la *protracción* (movimiento anterior) y la *retracción* (movimiento posterior). **(c)** Cambios en la posición del hombro derecho que suceden durante la *elevación* (movimiento superior) y la *depresión* (movimiento inferior). En cada caso, obsérvese que la clavícula es responsable de limitar la amplitud del movimiento *(v. figura 8.5d,f)*.

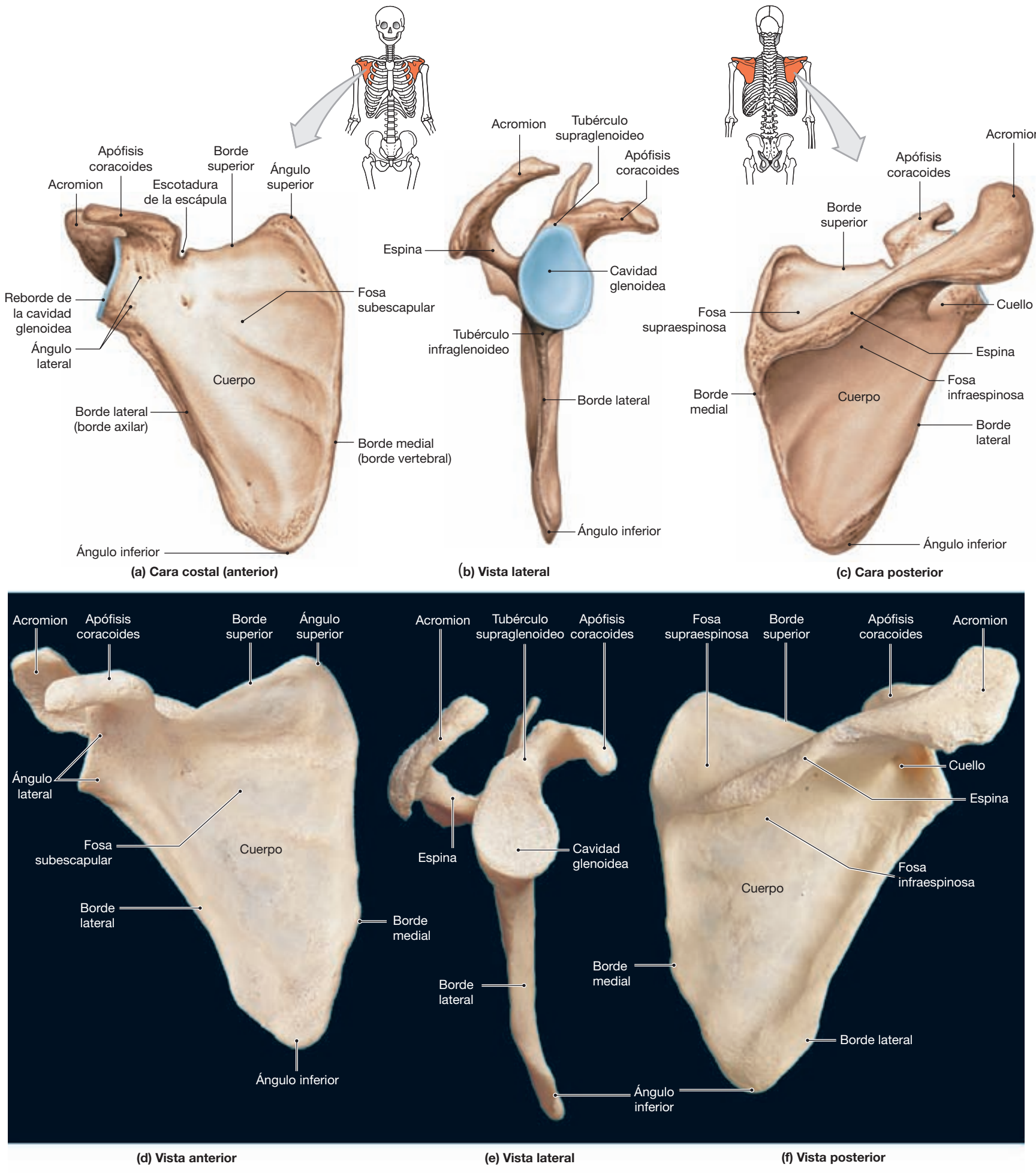


Figura 7.5 **Escápula**

La escápula, que forma parte de la cintura escapular, se articula con la extremidad superior. Vistas anteriores **(a,d),** laterales **(b,e)** y posteriores **(c,f)** de la escápula derecha.

claramente perceptible en la cara anterior del brazo. La **escotadura de la escápula** es una hendidura situada en una posición medial a la base de la apófisis coracoides. El **acromion** (*akron,* punta + *omos,* hombro), la prominencia posterior más grande, se dirige hacia adelante desde el extremo lateral de la *espina de la escápula* formando un ángulo de 90°, y sirve como punto de inserción para una de las porciones del *músculo trapecio* de la espalda. Si los dedos se deslizan siguiendo la superficie superior de la articulación del hombro, se palpa esta prolongación. El acromion se articula con la clavícula en la **articulación acromioclavicular** (v. figura 7.4a). Tanto el acromion como la apófisis coracoides están unidos a unos ligamentos y tendones asociados a la articulación del hombro, que se describirá más a fondo en el capítulo 8.

La mayor parte de los detalles presentes sobre la superficie de la escápula representan las áreas de inserción utilizadas por los músculos encargados de poner en su posición el hombro y el brazo. Por ejemplo, el **tubérculo supraglenoideo** señala el origen de la porción larga del *músculo bíceps braquial.* El **tubérculo infraglenoideo** marca el origen de la porción larga del *músculo tríceps braquial,* un músculo igual de relevante, pero en la superficie posterior del brazo. La **espina de la escápula** cruza el cuerpo escapular antes de acabar en su borde medial. Este relieve divide en dos regiones la superficie dorsal convexa del cuerpo. La zona superior a la espina constituye la **fosa supraespinosa** (*supra,* encima); la región inferior es la **fosa infraespinosa** (*infra,* debajo). Las dos caras de la espina separan el *músculo supraespinoso* del *músculo infraespinoso,* y su cresta posterior saliente sirve como zona de inserción para los *músculos deltoides* y *trapecio.*

Extremidad superior [v. figura 7.2]

El esqueleto de cada extremidad superior comprende el húmero, el cúbito y el radio, los huesos del carpo en la muñeca y los huesos metacarpianos y las falanges de la mano (v. figura 7.2, p. 176).

Húmero [v. figura 7.6]

El **húmero** es el hueso proximal de la extremidad superior. La porción superior y medial de su epífisis proximal es lisa y redondeada. Se trata de la **cabeza** humeral, que se articula con la escápula en su cavidad glenoidea. El borde lateral de la epífisis presenta una gran prolongación, la **tuberosidad mayor** del húmero (v. figura 7.6a,b). Esta tuberosidad forma el borde lateral del hombro; para dar con él hay que palpar una protuberancia que ocupa una posición anterior e inferior a pocos centímetros de la punta del acromion. Sobre su superficie lleva tres impresiones planas y lisas que sirven como zonas de inserción para tres músculos cuyo origen está en la escápula. El *músculo supraespinoso* se inserta sobre la más superior, el *músculo infraespinoso* lo hace en la intermedia y el *músculo redondo menor* en la más inferior. La **tuberosidad menor** se halla en la superficie anterior y medial de la epífisis, e indica el punto de inserción de otro músculo escapular, el *subescapular.* Está separada de la tuberosidad mayor por el **surco intertubercular.** El tendón del *músculo bíceps braquial* recorre este surco procedente de su origen en el tubérculo supraglenoideo de la escápula. El **cuello anatómico,** un estrechamiento de situación inferior a la cabeza del húmero, señala el límite distal para la cápsula articular de la articulación del hombro. Está situado entre los tubérculos y la superficie articular lisa de la cabeza. En cambio, en una zona distal a los tubérculos, el **cuello quirúrgico** es estrecho y corresponde a la metáfisis del hueso en crecimiento. Su nombre refleja el hecho de que las fracturas suelen producirse a este nivel.

La parte proximal del **cuerpo** del húmero, o *diáfisis,* aparece redonda en los cortes transversales. La **tuberosidad deltoidea** es una elevación que recorre el borde lateral del cuerpo, y baja hasta algo más de la mitad de su longitud. Recibe este nombre porque el *músculo deltoides* se inserta en ella. En la cara anterior del cuerpo, el surco intertubercular continúa a lo largo de la tuberosidad deltoidea.

El **cóndilo** articular es la estructura que domina la superficie inferior distal del húmero (v. figura 7.6a,c). Lo cruza una cresta poco elevada, que lo divide en dos regiones articulares distintas. La **tróclea** (*trochlea,* polea) es la porción medial con forma de carrete, que se articula con el *cúbito,* el hueso medial del antebrazo. Esta estructura se extiende desde la cara anterior a nivel de la base de la **fosa coronoidea** *(corona)* hasta la posterior en la **fosa olecraniana** (v. figura 7.6a,d). Cuando el codo se acerca a la *flexión* completa (codo doblado) o a la *extensión* completa (codo recto), las dos depresiones citadas acogen otras dos prominencias que surgen de la superficie cubital. El **capítulo** redondeado forma la superficie lateral del cóndilo, y se articula con la cabeza del *radio,* el hueso lateral del antebrazo. Una **fosita radial** poco profunda que queda por encima del capítulo aloja una pequeña parte de la cabeza radial cuando el antebrazo se aproxima al húmero.

En la cara posterior (v. figura 7.6d), el **surco para el nervio radial** recorre el borde posterior de la tuberosidad deltoidea. Esta depresión marca el trayecto del *nervio radial,* un nervio grande que tiene a su cargo transportar la información sensitiva procedente del dorso de la mano y el control motor de los grandes músculos que estiran el codo. El surco para el nervio radial acaba en el borde inferior de la tuberosidad deltoidea, donde el nervio gira hacia la cara anterior del brazo. Cerca del extremo distal del húmero, el cuerpo se abre hacia ambos lados, y forma un triángulo ancho. Un *epicóndilo* es un saliente que surge en la zona proximal a una articulación y ofrece una superficie extra para la inserción de músculos. Los **epicóndilos medial** y **lateral** sobresalen de la parte distal del húmero hacia ambos lados en la articulación del codo (v. figura 7.6c,d). El *nervio cubital* cruza la cara posterior del epicóndilo medial. Cualquier golpe recibido en la vertiente humeral de la articulación del codo puede repercutir sobre este nervio y producir un entumecimiento transitorio con parálisis de los músculos correspondientes a la cara anterior del antebrazo. Debido a la extraña sensación que genera, esta zona a veces se denomina *hueso de la risa.*

Cúbito [v. figuras 7.2/7.7]

El **cúbito** y el **radio** son dos huesos paralelos que sostienen el antebrazo (v. figura 7.2). En la posición anatómica, el cúbito queda medial al radio (v. figura 7.7a). La punta del codo está formada por el **olécranon** del cúbito (v. figura 7.7b). Esta eminencia representa la porción superior y posterior de la epífisis proximal. En su cara anterior, la **escotadura troclear** (o *cavidad sigmoidea mayor*) encaja con la tróclea del húmero (v. figura 7.7c-e). El olécranon constituye el labio superior de la escotadura troclear, y la **apófisis coronoides,** su labio inferior. Cuando el codo está recto *(extensión),* el olécranon se mete dentro de la fosa olecraniana que hay en la cara posterior del húmero. Si el codo está doblado *(flexión),* es la apófisis coronoides la que entra en la fosa coronoidea de la cara anterior del húmero. En un área lateral a la apófisis coronoides, la **escotadura radial** es lisa (v. figura 7.7d,e) y deja espacio para alojar la cabeza del radio y configurar la *articulación radiocubital proximal.*

El cuerpo del cúbito es más o menos triangular en un corte transversal, su cara medial es lisa y ocupa la base del triángulo y el borde lateral corresponde al vértice. Hay una lámina fibrosa, la **membrana interósea del antebrazo,** que pone en conexión el borde lateral del cúbito con el borde medial del radio y suministra una superficie suplementaria para la inserción de músculos (v. figura 7.7a,d). En su parte distal, el cuerpo del cúbito se estrecha antes de acabar en una **cabeza cubital** disciforme cuyo borde posterior sostiene una **apófisis estiloides** (*styloid,* largo y en punta) corta. En esta apófisis estiloides se fija un cartílago articular triangular, que aísla la cabeza cubital de los huesos de la muñeca. La *articulación radiocubital distal* queda cerca del borde lateral de la cabeza del cúbito (v. figura 7.7f).

La *articulación del codo* es una articulación estable formada por dos elementos, que funciona como una bisagra (v. figura 7.7b,c). Gran parte de su estabilidad se explica por el engranaje creado entre la tróclea del húmero y la escotadura troclear del cúbito; esta es la *articulación humerocubital.* La otra porción de la articulación del codo consiste en la *articulación humerorradial,* constituida por el capítulo del húmero y la superficie superior plana de la cabeza del radio. En el capítulo 8 examinaremos la estructura de la articulación del codo.

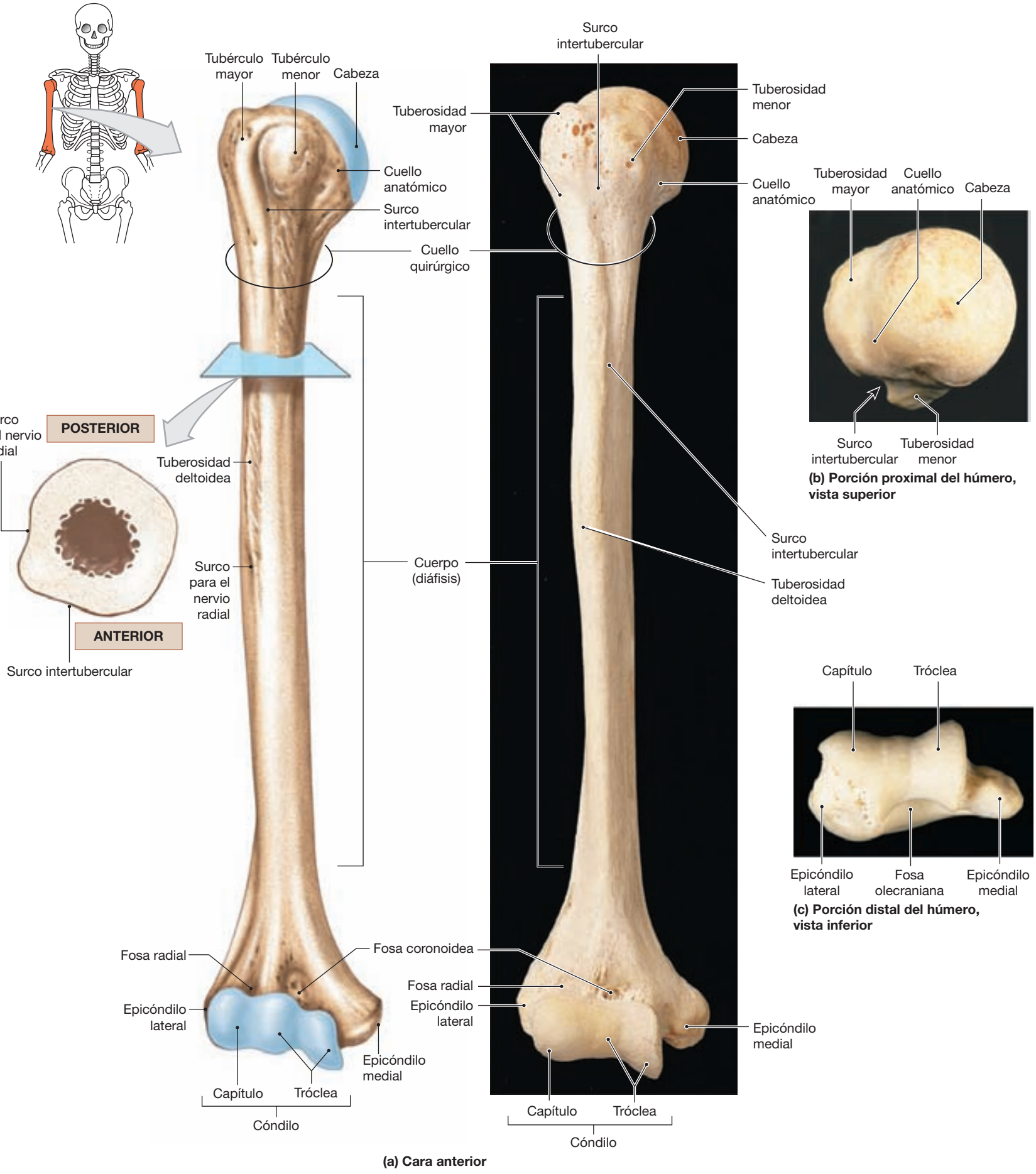
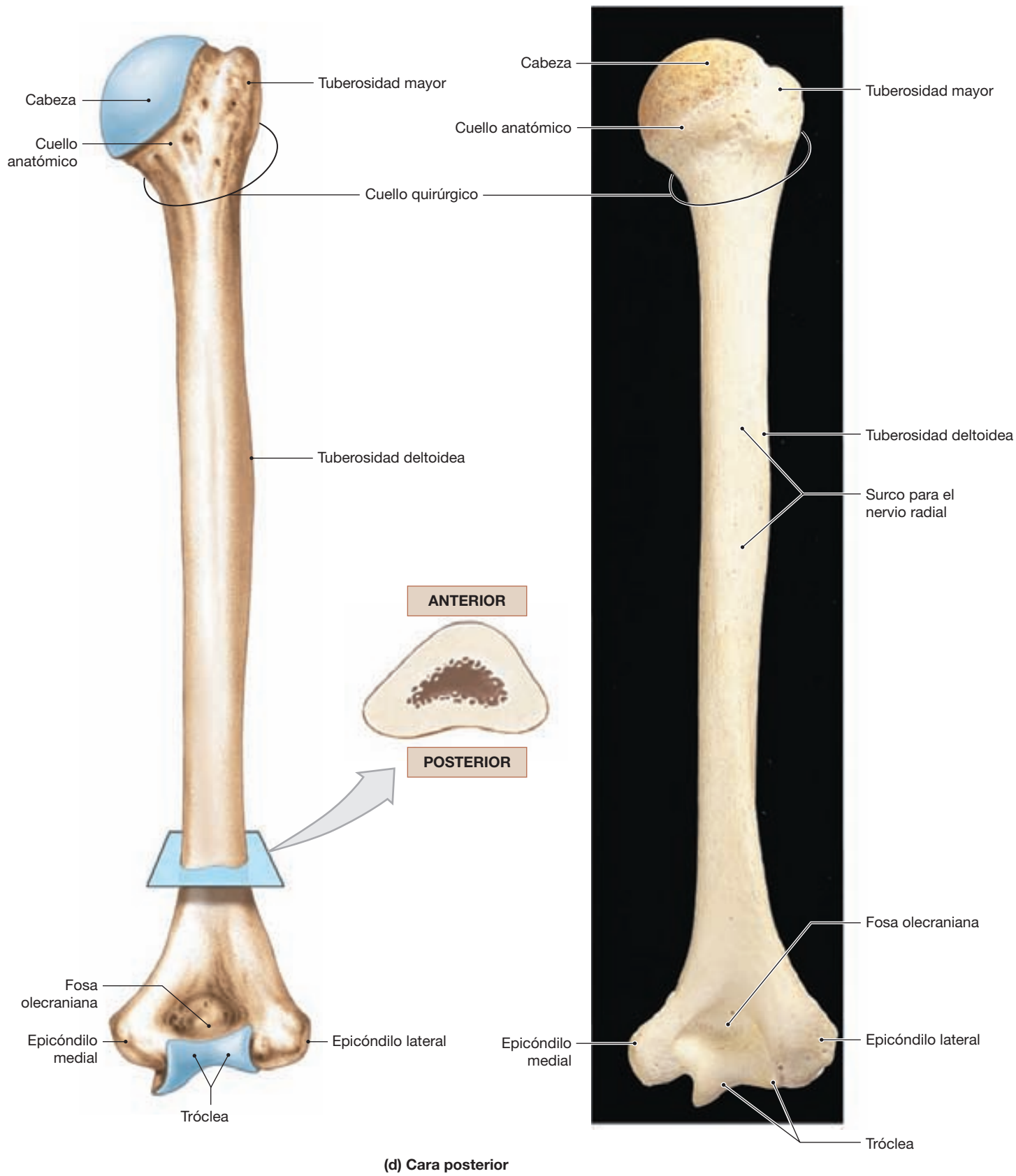


Figura 7.6 Húmero
(a) Vistas anteriores. **(b)** Vista superior de la cabeza del húmero. **(c)** Vista inferior de la porción distal del húmero. **(d)** Vista posterior.



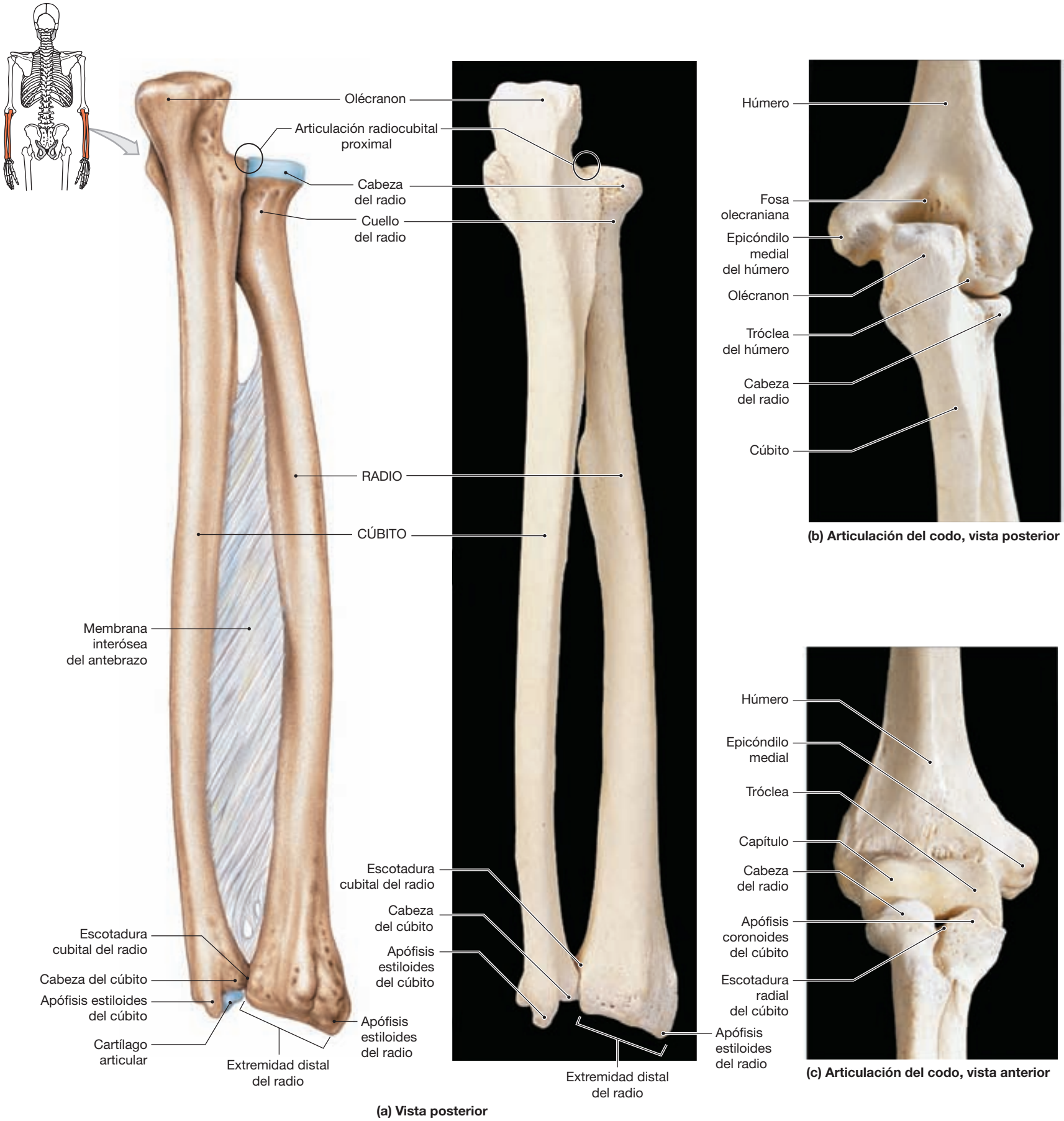
(d) Cara posterior

Figura 7.6 ***(cont.)***

Radio [v. figura 7.7]

El radio es el hueso lateral del antebrazo (v. figura 7.7). Su **cabeza** disciforme, o *cabeza radial,* se articula con el capítulo del húmero. Desde la cabeza radial se extiende un *cuello* estrecho hasta llegar a una **tuberosidad del radio** saliente, que marca la zona de inserción del *músculo bíceps braquial.* Este músculo dobla (flexiona) el codo, lo que hace pivotar el antebrazo hacia el brazo. El cuerpo del radio toma una curva a lo largo de su longitud, y la **extremidad distal** de este hueso es considerablemente más grande que la porción distal del cúbito. Como el cúbito está separado de la muñeca por el cartílago articular y por un disco articular, nada más que la extremidad distal del radio participa en la articulación de la muñeca. La **apófisis estiloides** situada sobre la superficie lateral de la extremidad distal sirve para estabilizarla.

La superficie medial de la extremidad distal se articula con la cabeza del cúbito por medio de la **escotadura cubital del radio** y forma la articu-



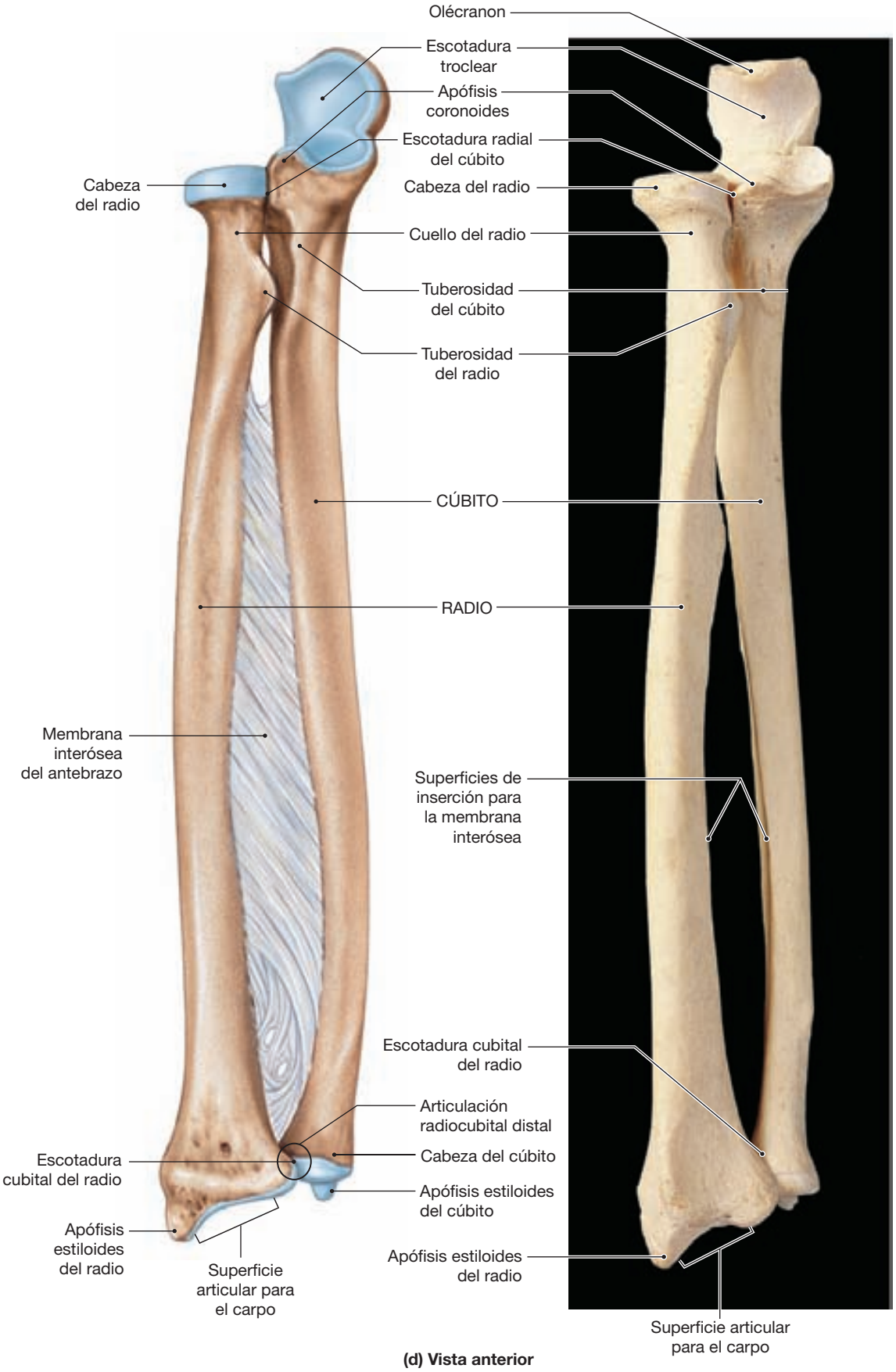
(a) Vista posterior

(b) Articulación del codo, vista posterior

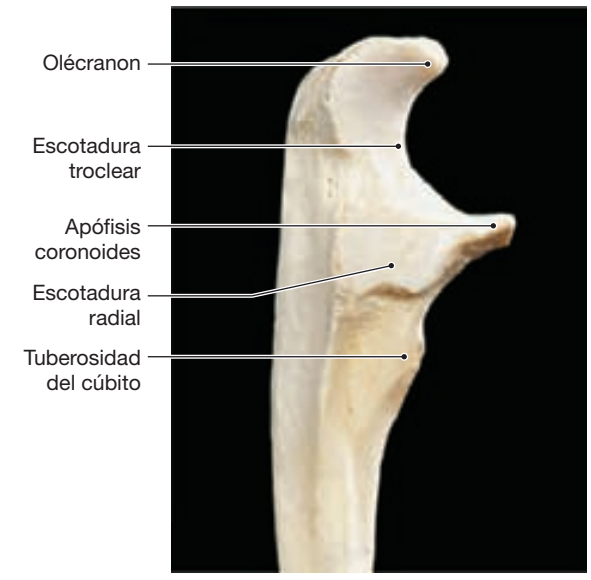
(c) Articulación del codo, vista anterior

Figura 7.7 Radio y cúbito

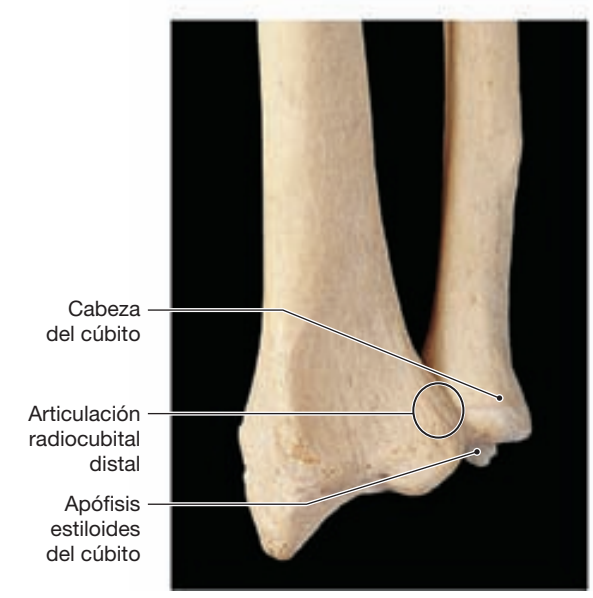
El radio y el cúbito son los huesos del antebrazo. **(a)** Vista posterior del radio y el cúbito derechos. **(b)** Vista posterior de la articulación del codo, que muestra el acoplamiento entre los huesos que participan. **(c)** Vista anterior de la articulación del codo. **(d)** Vista anterior del radio y el cúbito. **(e)** Vista lateral del extremo proximal del cúbito. **(f)** Vista anterior de las porciones distales del radio y el cúbito, y de la articulación radiocubital distal.



(d) Vista anterior



(e) Cúbito, vista lateral



(f) Porción distal del radio y el cúbito

Figura 7.7 *(cont.)*

lación radiocubital distal. La articulación radiocubital proximal permite la *rotación medial* o *lateral* de la cabeza del radio. Cuando se realiza una rotación medial, la escotadura cubital gira alrededor de la superficie redondeada de la cabeza del cúbito. A su vez, la rotación medial de las articulaciones radiocubitales rota la muñeca y la mano desde la posición anatómica en ese mismo sentido. Este movimiento de rotación se denomina *pronación.* Su inverso, que supone la rotación lateral de las articulaciones radiocubitales, se llama *supinación.*

Huesos del carpo [v. figura 7.8]

La muñeca, o *carpo,* está constituida por los ocho **huesos del carpo.** Estos huesos forman dos hileras: cuatro **huesos proximales del carpo** y cuatro **huesos distales del carpo.** Los huesos proximales del carpo son el *escafoides,* el *semilunar,* el *piramidal* y el *pisiforme.* Los huesos distales del carpo son el *trapecio,* el *trapezoide,* el *grande* y el *ganchoso* (v. figura 7.8). Los huesos del carpo se encuentran unidos entre sí por articulaciones que permiten unos deslizamientos y unos movimientos de torsión limitados. Los ligamentos actúan como conexiones entre ellos y sirven para estabilizar la muñeca.

Huesos proximales del carpo

- El **escafoides** es el hueso proximal del carpo situado en el borde lateral de la muñeca, en contigüidad a la apófisis estiloides del radio.
- El **semilunar** *(luna),* con su forma de coma, se halla medial al escafoides. Igual que él, se articula con el radio.
- El **piramidal** *(hueso triangular)* ocupa un lugar medial al semilunar. Tiene la forma de una pequeña pirámide. Se articula con el cartílago que separa la cabeza cubital de la muñeca.
- El **pisiforme** es pequeño, posee forma de guisante, queda en una posición anterior al piramidal, y es el hueso que alcanza un nivel más medial que cualquier otro hueso del carpo de las hileras proximal o distal.

Huesos distales del carpo

- El **trapecio** es el hueso lateral de la hilera distal. Forma una articulación proximal con el escafoides.
- El **trapezoide** se encuentra en una posición medial al trapecio con su forma de cuña; es el más pequeño de los huesos distales del carpo. Como él, tiene una articulación proximal con el escafoides.
- El **grande** es el hueso del carpo de mayores dimensiones. Está situado entre el trapezoide y el ganchoso.
- El **ganchoso** es un hueso en forma de gancho que ocupa el extremo medial de los huesos distales del carpo.

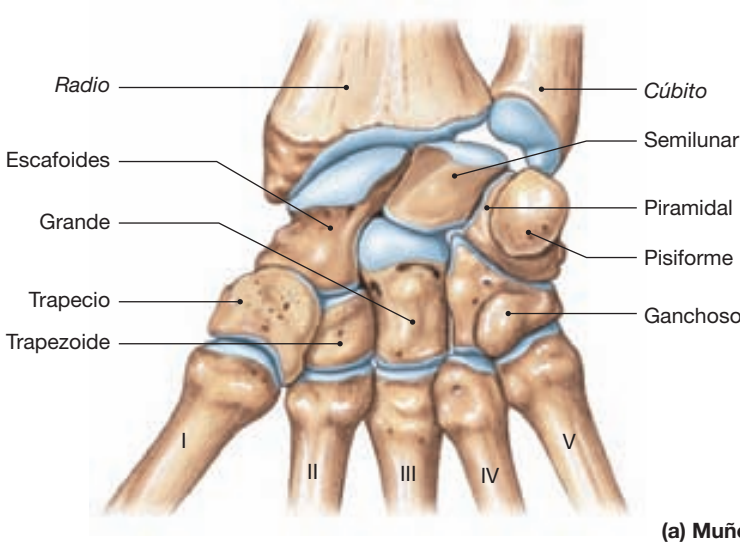
Para recordar los nombres de los huesos del carpo en el orden señalado, sirve la frase siguiente: «**E**s **s**abio **p**oner **p**az; **t**ambién **t**ransmite **g**ran **g**ozo». La primera letra de cada palabra coincide con la primera letra del hueso, desde la zona lateral hacia la medial; los cuatro primeros son los proximales y los cuatro últimos, los distales.

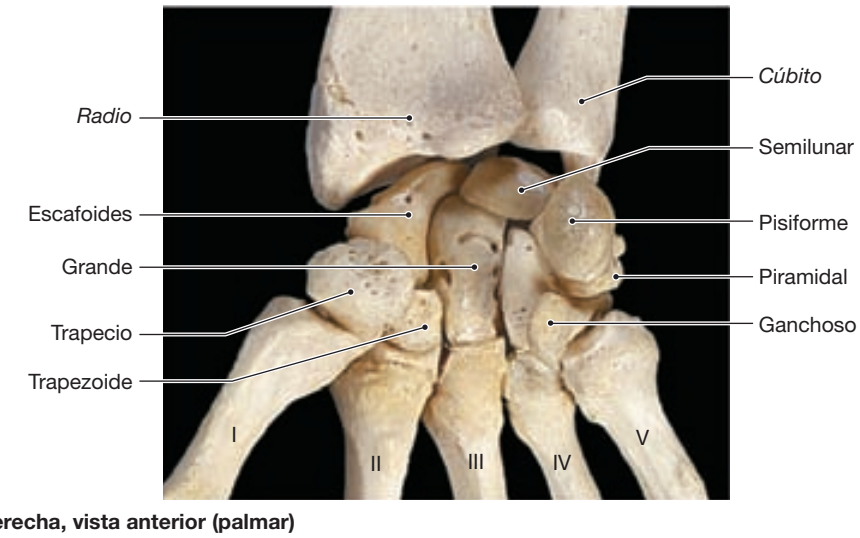
Huesos metacarpianos y falanges [v. figura 7.8b,c]

Los huesos distales del carpo se articulan con los cinco **huesos metacarpianos,** que sustentan la palma de la mano (v. figura 7.8b,c). Para identificarlos se utilizan los números romanos I-V, comenzando por la parte más lateral. Cada metacarpiano tiene el aspecto de un hueso largo en miniatura, formado por una *base* proximal cóncava y ancha, un *cuerpo* pequeño y una *cabeza* distal. Por esta parte distal, los huesos metacarpianos se articulan con los huesos de los dedos, o **falanges**. Hay 14 falanges en cada mano. El **pulgar** tiene dos (falange proximal y falange distal) y cada uno de los otros dedos tiene tres (proximal, media y distal).

Nota clínica

Fracturas del escafoides El escafoides es el hueso del carpo que se fractura más a menudo, normalmente debido a una caída con la mano extendida. La fractura suele seguir un trayecto perpendicular al eje longitudinal del hueso. Como el riego sanguíneo que recibe su porción proximal disminuye con la edad, las fracturas de este segmento óseo por regla general consolidan mal, y muchas veces derivan en la necrosis del segmento proximal del escafoides.

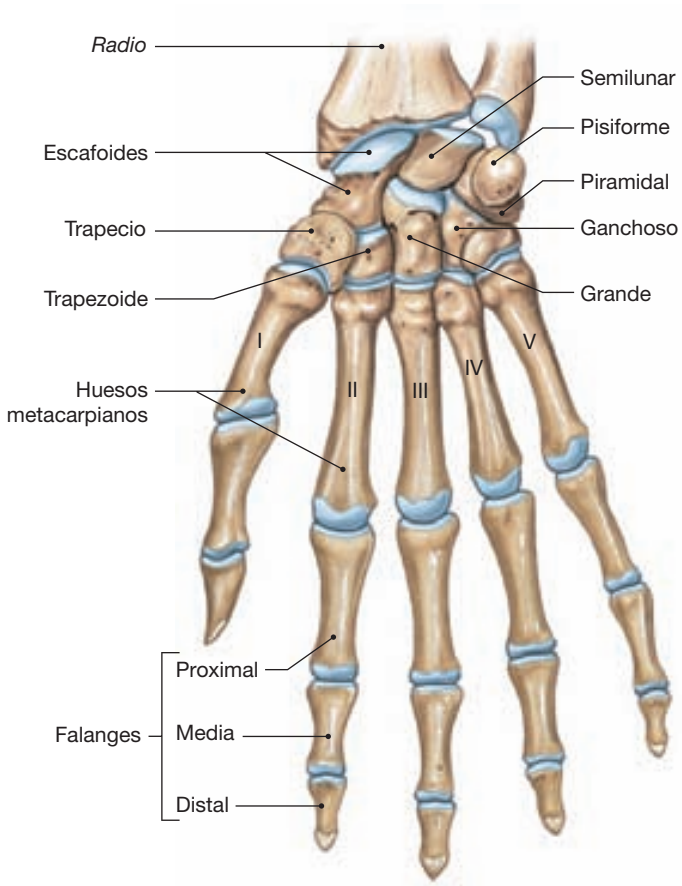


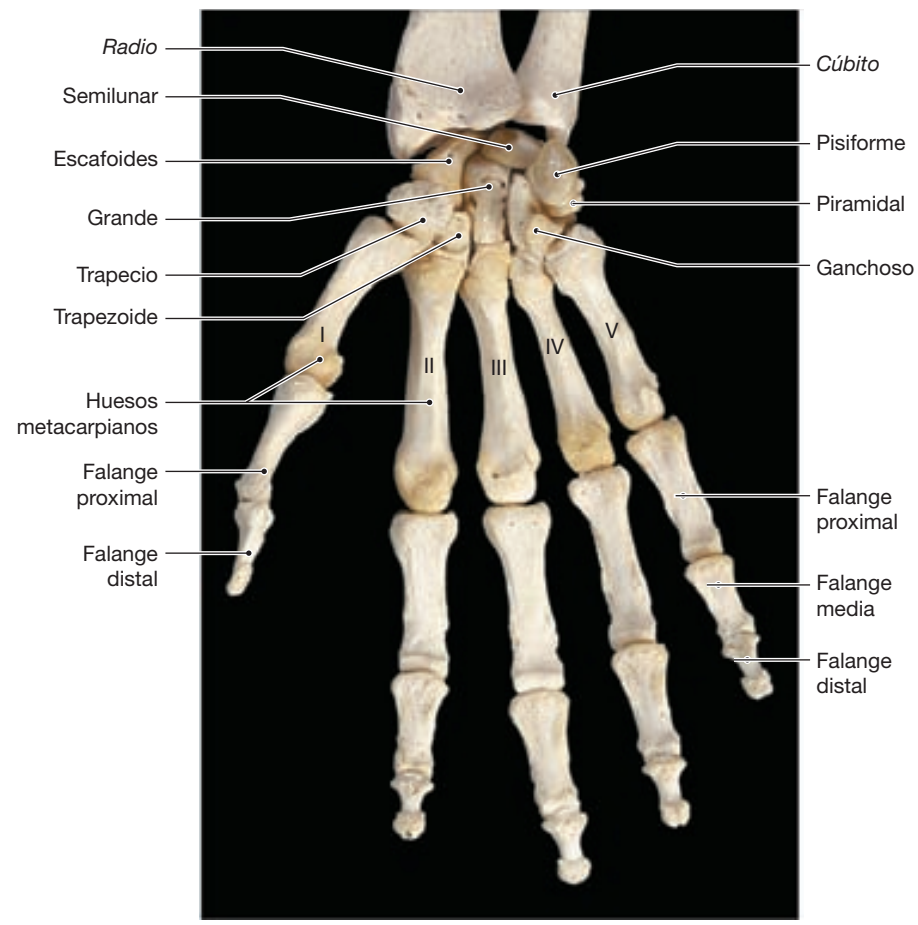


(a) Muñeca derecha, vista anterior (palmar)

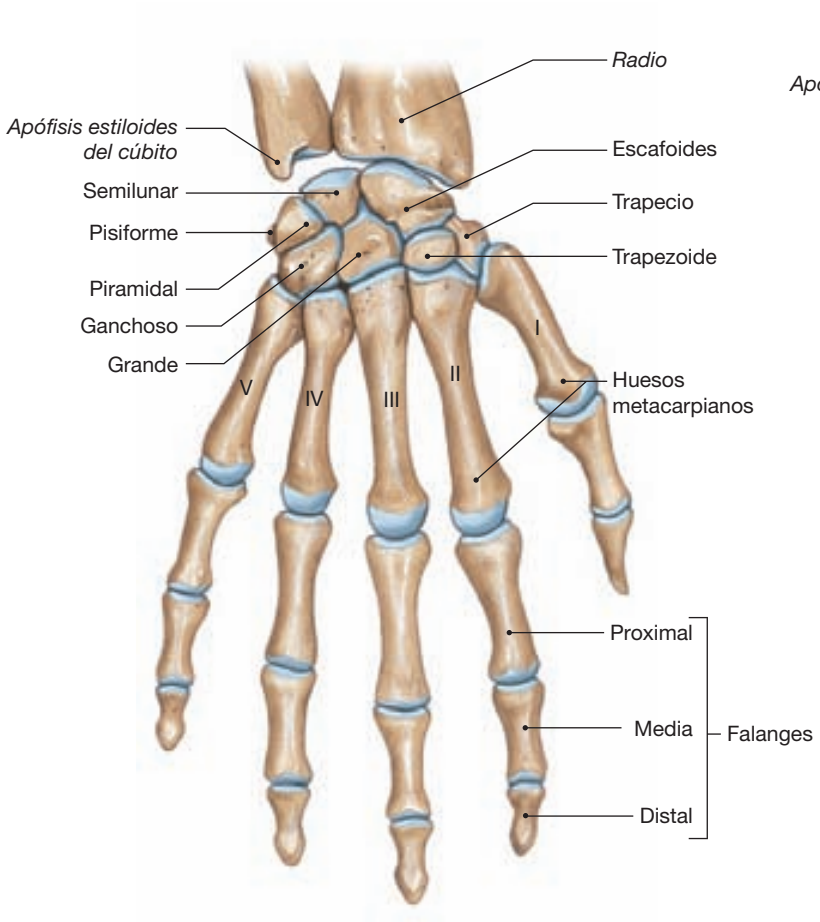
Figura 7.8 Huesos de la muñeca y la mano

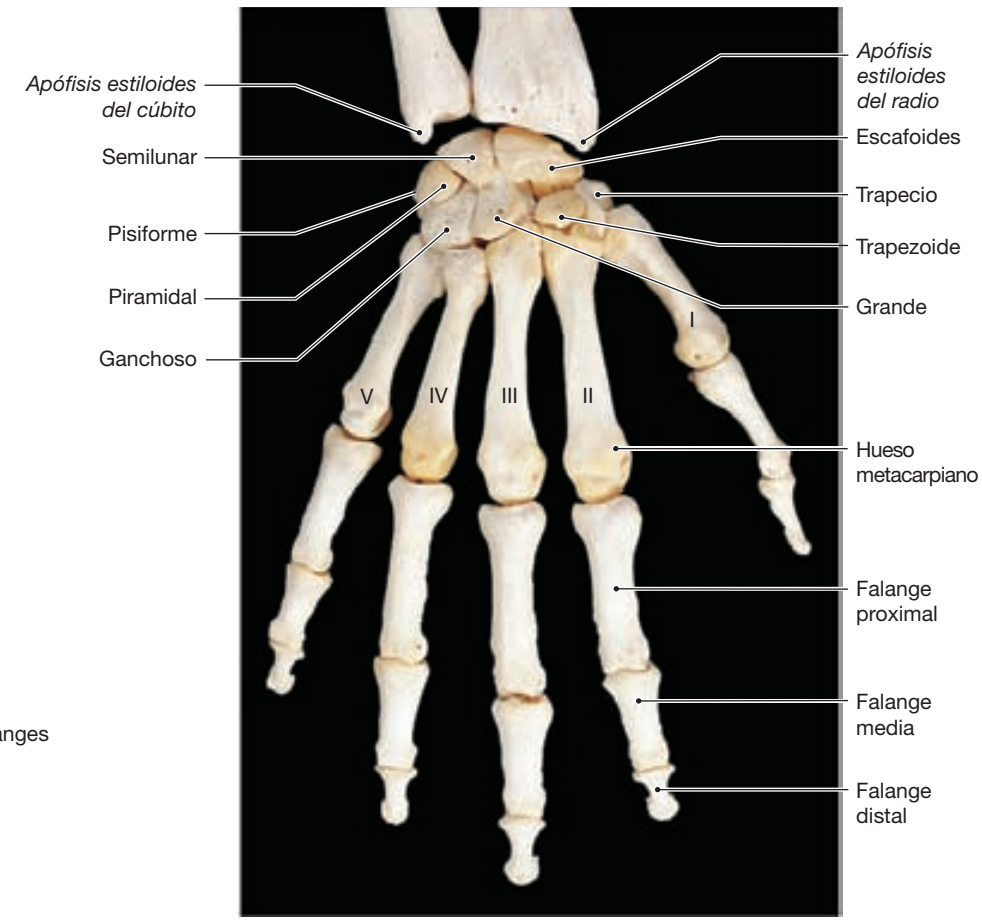
Los huesos del carpo forman la muñeca; los metacarpianos y las falanges forman la mano. **(a)** Vista anterior (palmar) de los huesos de la muñeca derecha. **(b)** Vista anterior (palmar) de los huesos de la muñeca y la mano derechas. **(c)** Vista posterior (dorsal) de los huesos de la muñeca y la mano derechas.





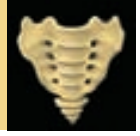
(b) Muñeca y mano derechas, vista anterior (palmar)





(c) Muñeca y mano derechas, vista posterior (dorsal)

Figura 7.8 ***(cont.)***



VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué la fractura de una clavícula repercute sobre la movilidad de la escápula?
2. ¿Qué hueso del antebrazo ocupa el lugar lateral en la posición anatómica?
3. ¿Cuál es la función del olécranon?
4. ¿Qué hueso constituye la única conexión directa ente la cintura escapular y el esqueleto de la cabeza y el tronco?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Cintura pélvica y extremidad inferior [v. figura 7.9]

Los huesos de la **cintura pélvica** sustentan y protegen las vísceras más inferiores del cuerpo, contando los órganos genitales y el feto en desarrollo en el caso de las mujeres. Los huesos coxales son más sólidos que los de la cintura escapular debido a la sobrecarga que reciben al tener que soportar el peso y la locomoción. En las extremidades inferiores también son más fuertes que en las superiores por una razón similar. La cintura pélvica está compuesta por los dos **huesos coxales,** también llamados *huesos ilíacos* o *huesos innominados.* La *pelvis* es una estructura mixta que engloba a los huesos coxales pertenecientes al esqueleto de las extremidades más el sacro y el cóccix, que corresponden al esqueleto de la cabeza y el tronco. En cuanto al esqueleto de cada miembro inferior, comprende el *fémur* (muslo), la *rótula* (rodilla), la *tibia* y el *peroné* (pierna) y los huesos del tobillo *(huesos del tarso)* y del pie *(huesos metatarsianos* y *falanges)* (v. figura 7.9). En términos anatómicos, la *pierna* sólo alude a la porción distal del miembro, y no a toda la extremidad inferior. Para la *parte superior* empleamos *muslo* y *pierna* para la *parte inferior.*

Cintura pélvica [v. figura 7.10]

Cada hueso coxal de la cintura pélvica del adulto surge por la fusión de tres huesos: el *ilíaco,* el *isquion* y el *pubis* (v. figura 7.10). Al nacer, los tres están separados por cartílago hialino. Su crecimiento y su fusión en un solo hueso coxal suele terminar a los 25 años. La articulación entre cada hueso coxal y la carilla auricular del sacro tiene lugar en la cara posteromedial del ilíaco, y forma la *articulación sacroilíaca.* Las porciones anteromediales de los huesos coxales están conectadas entre sí por una almohadilla de cartílago fibroso a nivel de la *sínfisis del pubis.* El **acetábulo** *(acetabulum,* copa de vinagre) está situado en la cara lateral del hueso coxal. La cabeza del fémur se articula con esta superficie en curva mediante la *articulación coxofemoral.*

El acetábulo ocupa un área inferior y anterior al centro de los huesos ilíacos (v. figura 7.10a). El espacio encerrado por sus paredes es la **fosa acetabular,** cuyo diámetro mide aproximadamente 5 cm. El interior del acetábulo contiene una superficie lisa en curva que adopta la forma de la letra «C». Es la **carilla semilunar,** que se articula con la cabeza del fémur. Los bordes lateral y superior del acetábulo están constituidos por una cresta ósea. No hay ninguna otra cresta que señale los bordes anterior e inferior. El hiato que queda ahí se denomina *escotadura acetabular.*

Huesos coxales [v. figuras 7.10/7.11a]

El ilíaco, el isquion y el pubis se reúnen dentro de la fosa acetabular, como si fueran un pastel cortado en tres trozos. El **ilíaco,** el más grande de estos huesos, aporta la porción superior, que ocupa más o menos dos quintas partes de la superficie acetabular. Por encima del acetábulo, su amplia cara lateral en curva ofrece una amplia zona para la inserción de músculos, tendones y ligamentos (v. figura 7.10a). Las **líneas glúteas anterior, posterior** e **inferior** señalan los lugares de inserción correspondientes a los *músculos glúteos* que mueven el fémur. La expansión del ilíaco empieza por encima de la **línea arqueada** (v. figura 7.10b). El borde anterior de este hueso lleva la **espina ilíaca anterior inferior,** a una altura superior a la **escotadura ilíaca inferior,** y sigue en sentido anterior hasta la **espina ilíaca anterior superior.** Tras tomar una curva en sentido posterior, el borde superior sustenta la **cresta ilíaca,** un relieve que marca la inserción de ligamentos y músculos. La cresta ilíaca acaba en la **espina ilíaca posterior superior.** En un territorio inferior a la espina, el borde posterior del ilíaco continúa en sentido inferior hasta la **espina ilíaca posterior inferior,** un saliente redondeado que está situado a un nivel superior a la **escotadura ciática mayor,** por la que entra el nervio ciático en la extremidad inferior.

Cerca del borde superior y posterior del acetábulo, el ilíaco se fusiona con el **isquion,** que constituye las dos quintas partes posteriores de la superficie acetabular. El isquion es el más resistente de los huesos ilíacos. En una zona posterior al acetábulo, destaca la **espina ciática,** que sale en sentido superior dirigida hacia la **escotadura ciática menor.** El resto del isquion forma una eminencia maciza que gira en sentido medial e inferior. La **tuberosidad isquiática** es una protuberancia rugosa que forma su borde posterolateral. Al estar sentados, el peso del cuerpo recae sobre las tuberosidades isquiáticas. La **rama isquiática** es una extensión estrecha del isquion que se prolonga hasta su continuación anterior con el **pubis.**

En el punto de fusión, la rama del isquion se encuentra con la **rama inferior** del pubis. Por su extremo anterior, la rama inferior nace en la **espina púbica,** donde se une a la **rama superior** del pubis. La cara anterosuperior de esta rama superior está recorrida por una cresta rugosa, la **cresta del pubis,** que sale en sentido medial desde la espina púbica. Las ramas del pubis y del isquion rodean al **agujero obturador.** En vida, este espacio está cerrado por una lámina de fibras colágenas cuyas caras externa e interna ofrecen una base sólida para la inserción de los músculos pélvicos en la cadera. El origen de la rama superior está en el borde anterior del acetábulo. En su interior, el pubis entra en contacto con el ilíaco y con el isquion.

Las figuras 7.10b y 7.11a muestran otros rasgos más que quedan visibles en las caras medial y anterior del hueso coxal derecho:

- La cara medial cóncava de la **fosa ilíaca** sirve para sostener los órganos abdominales y proporciona una superficie añadida para la inserción de músculos. La línea arqueada marca su borde inferior.
- La cara anterior y medial del pubis contiene una región rugosa que denota el punto de articulación con el pubis del otro lado. En esta articulación, la **sínfisis del pubis,** los dos huesos están fijados a una almohadilla media de cartílago fibroso.
- La **cresta pectínea** nace cerca de la sínfisis y sigue un trayecto diagonal a través del pubis hasta confluir con la línea arqueada, que continúa su recorrido hacia la **carilla auricular** del ilíaco. Las carillas auriculares del ilíaco y el sacro están unidas formando la *articulación sacroilíaca.* Los ligamentos originados en la **tuberosidad ilíaca** se encargan de estabilizarla.
- El **surco obturador** se encuentra sobre la superficie medial de la rama superior del pubis. Tras su disección, en este surco aparecerían los vasos sanguíneos obturatrices y los nervios obturadores.

Pelvis [v. figuras 7.11 a 7.13]

La figura 7.11 muestra unas imágenes anterior y posterior de la **pelvis,** la cual está constituida por cuatro huesos: los dos huesos coxales, el sacro y el cóccix. La pelvis es un anillo óseo, del que los huesos coxales forman sus partes anterior y lateral, y el sacro y el cóccix, la posterior. Una amplia red de ligamentos salta desde los bordes laterales del sacro hasta la cresta ilíaca, la tuberosidad isquiática, la espina ciática y la línea iliopectínea. Otros ligamentos unen el ilíaco a la zona posterior de las vértebras lumbares. Estas interconexiones aumentan la estabilidad de la pelvis.

En conjunto, esta estructura puede subdividirse en la **pelvis mayor** *(falsa)* y la **pelvis menor** *(verdadera).* Los límites de cada una están indicados en la figura 7.12. La pelvis mayor consta de aquellas porciones ensanchadas de cada ilíaco que tienen aspecto de pala y quedan por encima de la línea iliopectínea. Esta zona encierra órganos correspondientes a la región

(Continúa en página 193)

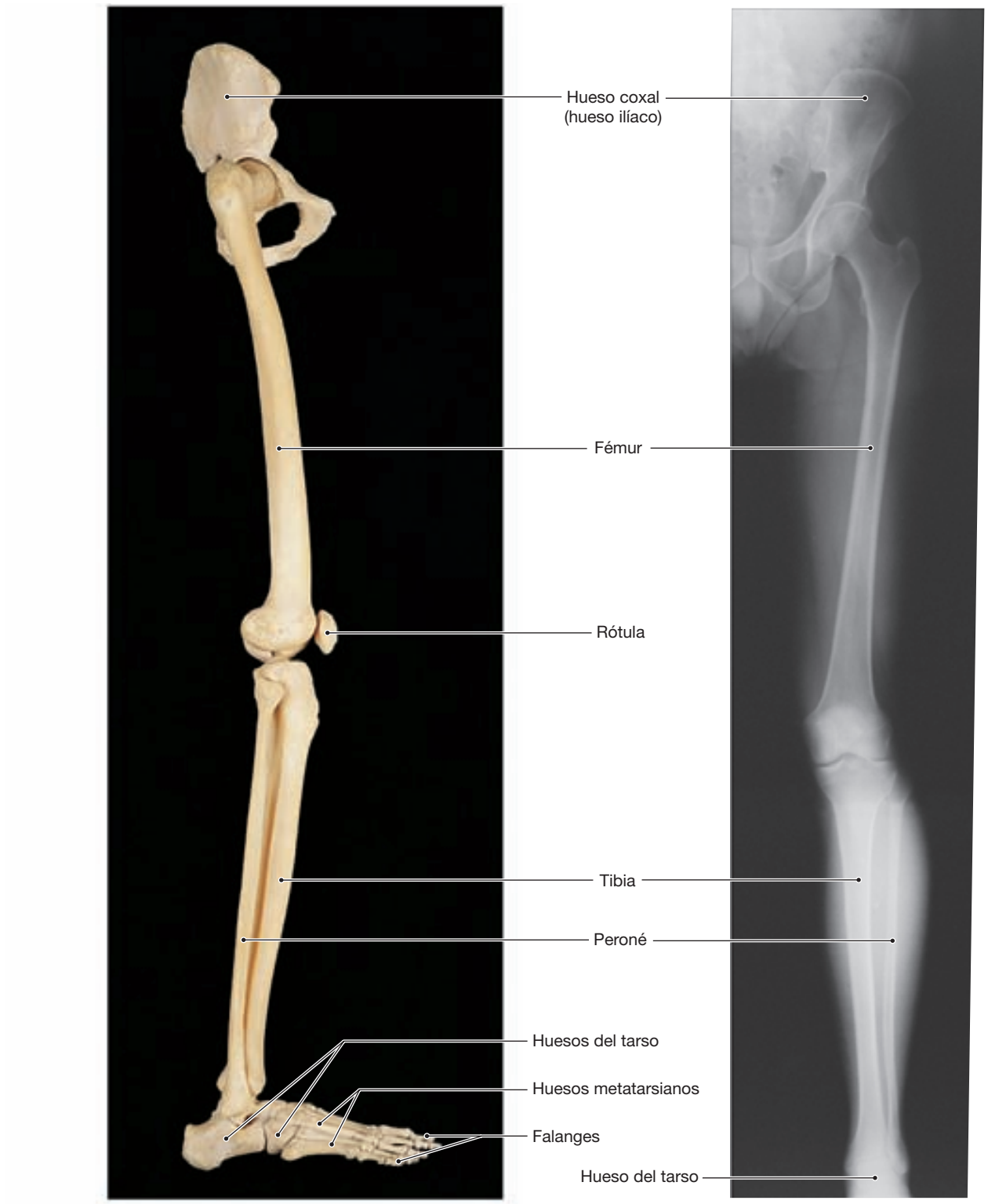
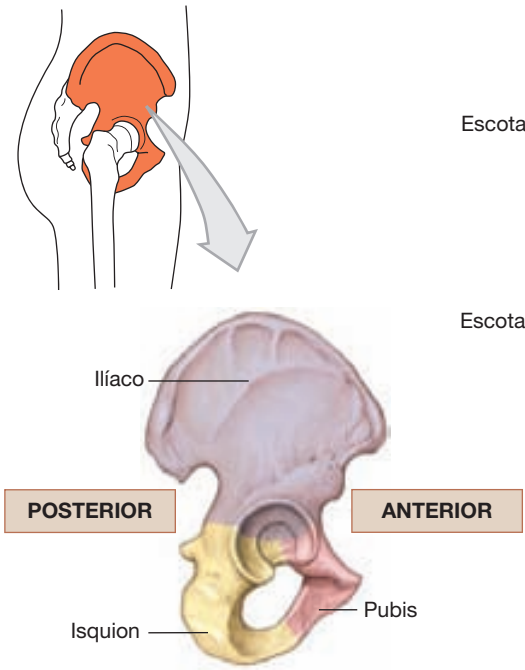


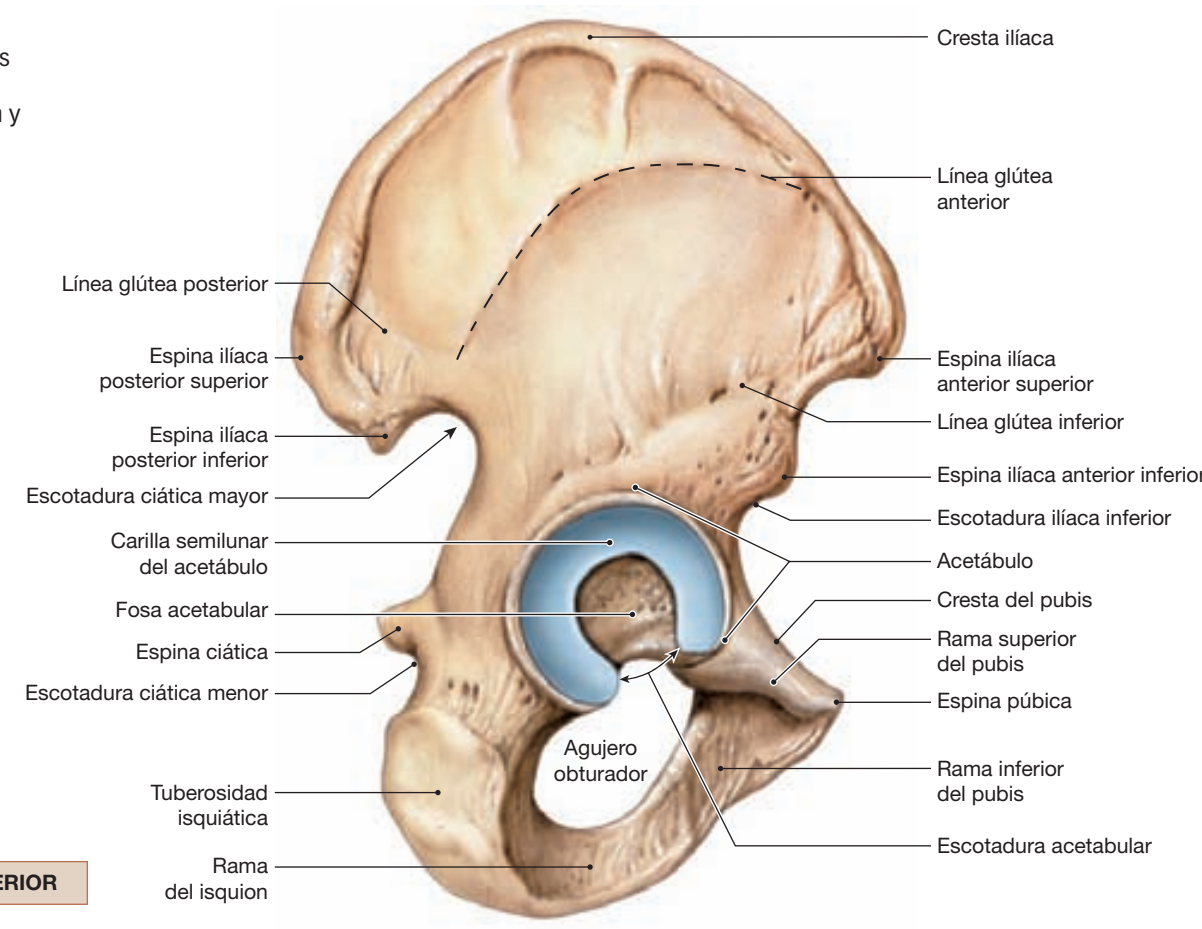
Figura 7.9 Cintura pélvica y extremidad inferior

Cada extremidad inferior se articula con el esqueleto de la cabeza y el tronco a nivel de este último mediante la cintura pélvica. **(a)** Extremidad inferior derecha: vista lateral. **(b)** Radiografía de la cintura pélvica y la extremidad inferior, proyección anteroposterior.

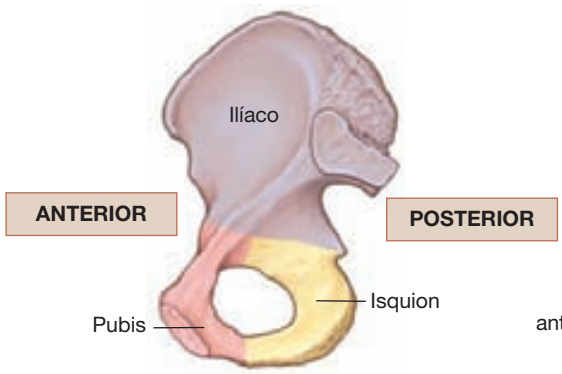
Figura 7.10 Cintura pélvica
La cintura pélvica está compuesta por los dos huesos coxales. Cada uno se forma como resultado de la fusión de un ilíaco, un isquion y un pubis. **(a)** Vista lateral. **(b)** Vista medial.

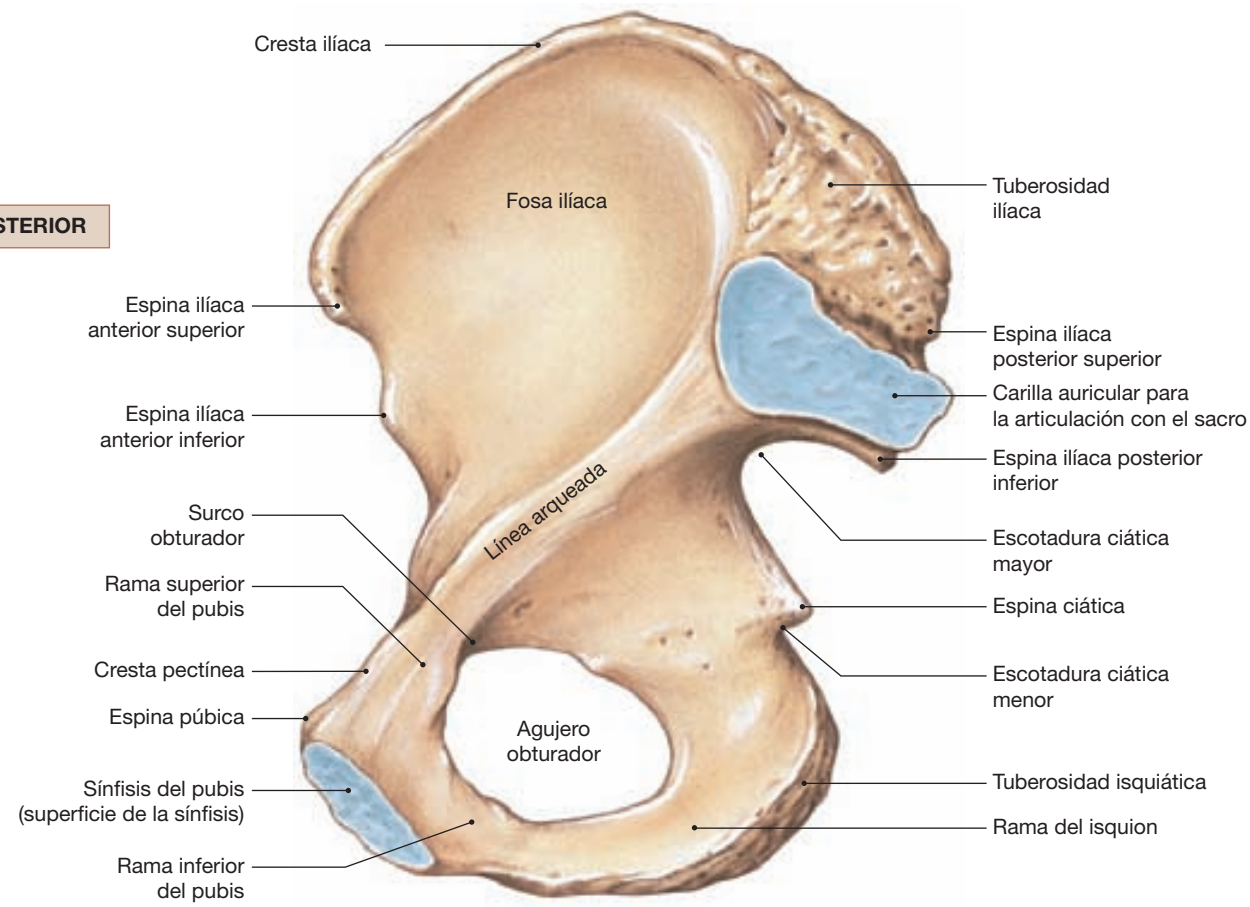


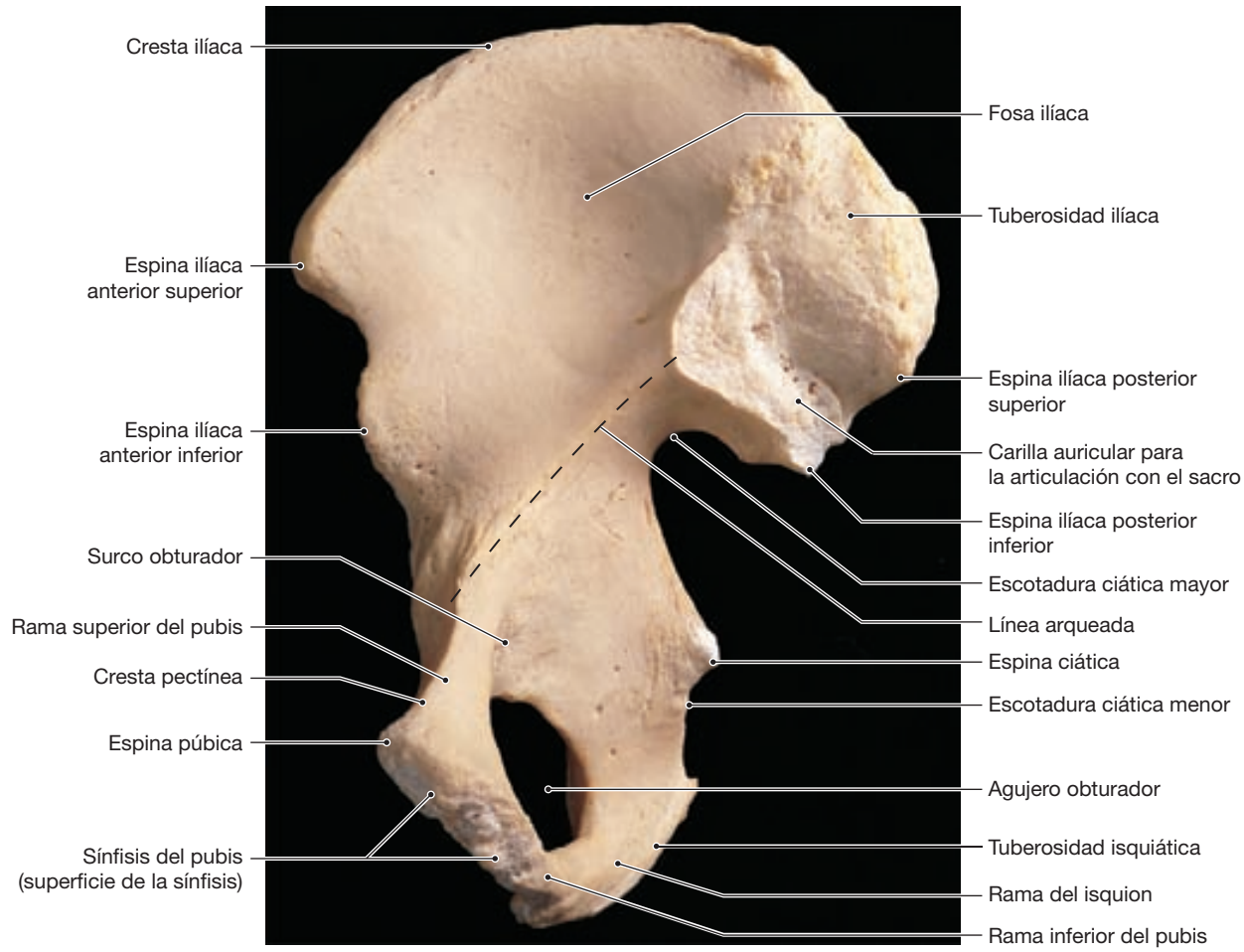
Vista lateral



(a) Vista lateral

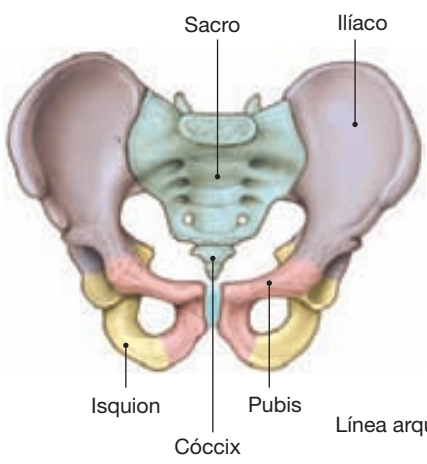


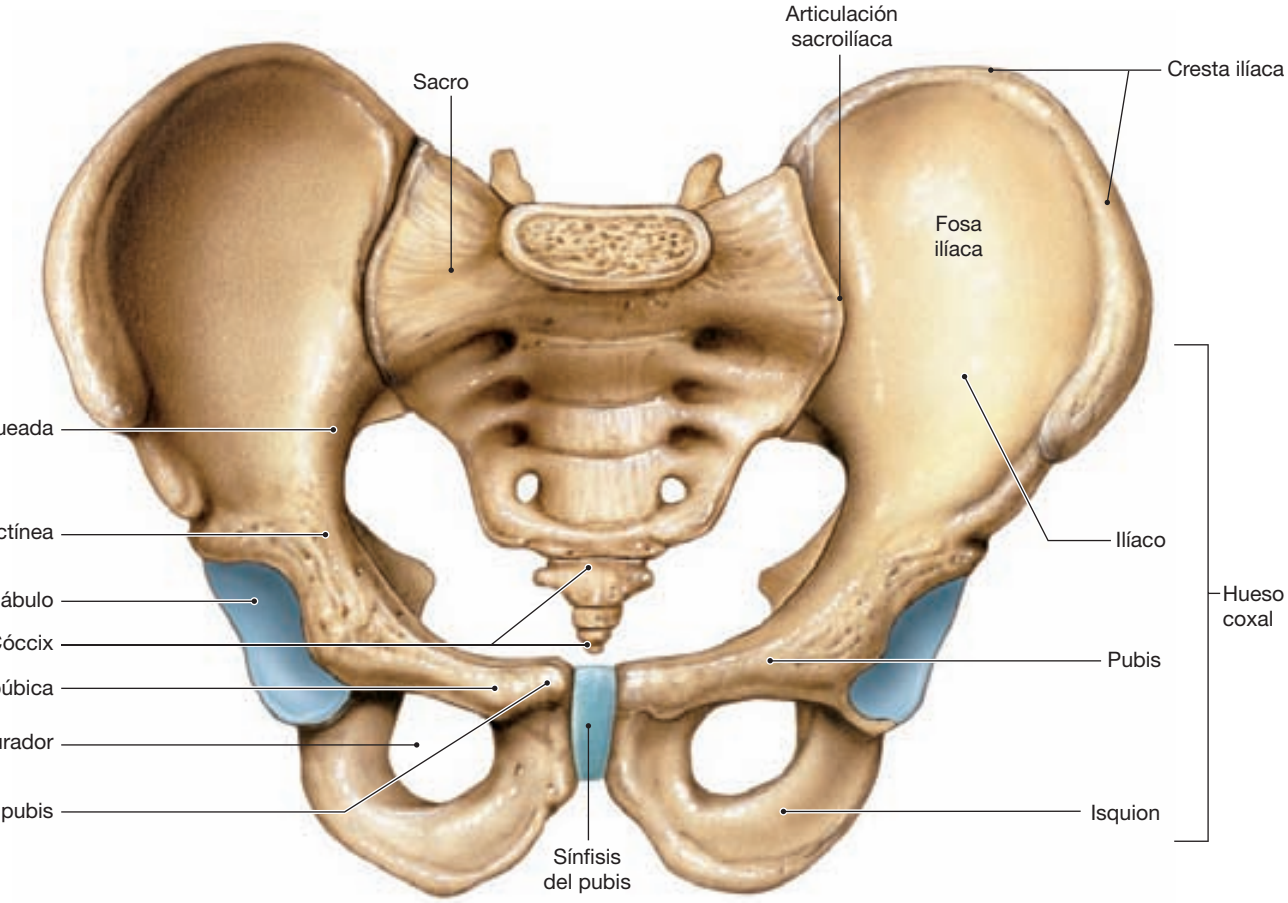


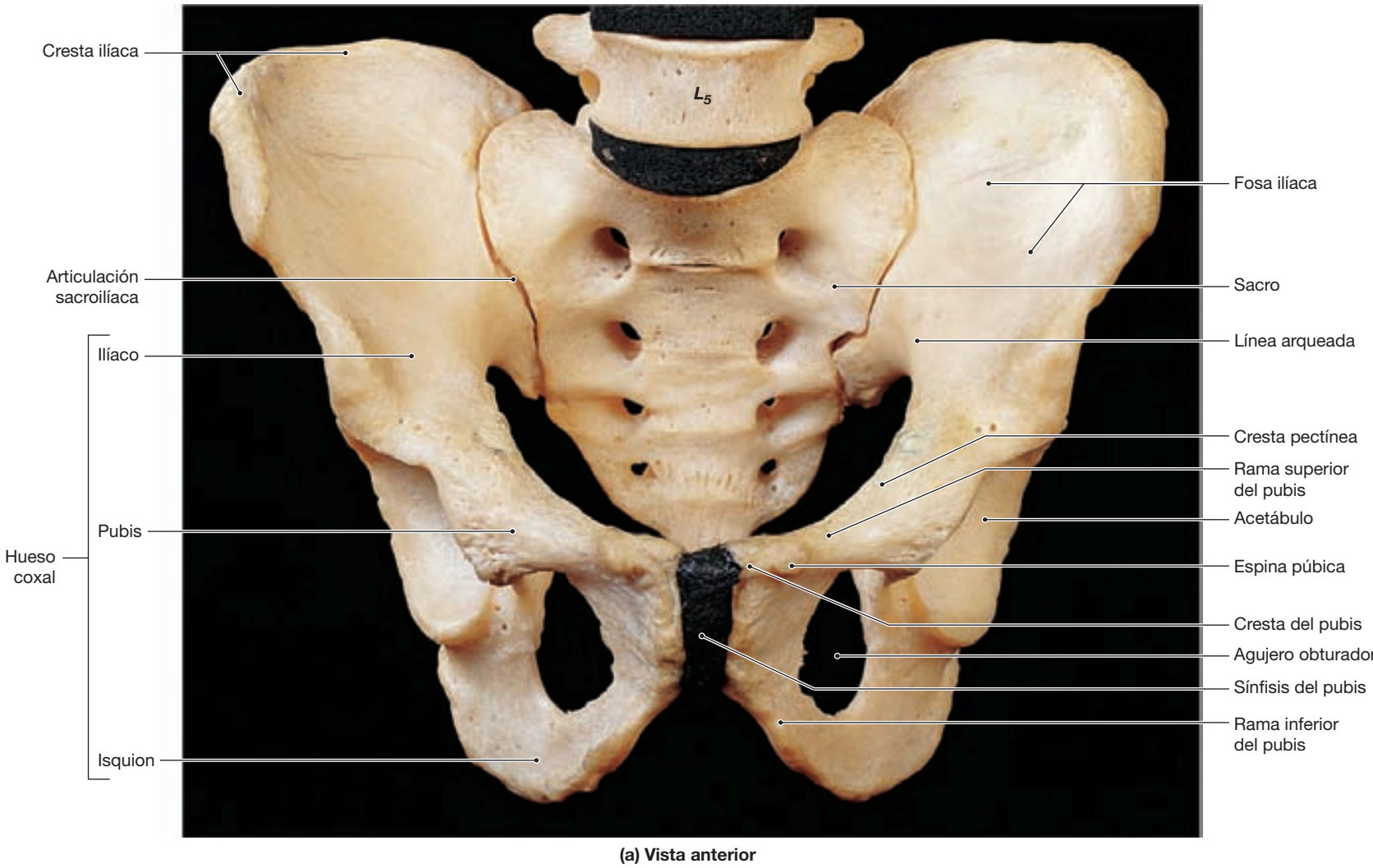


(b) Vista medial

Figura 7.10 ***(cont.)***

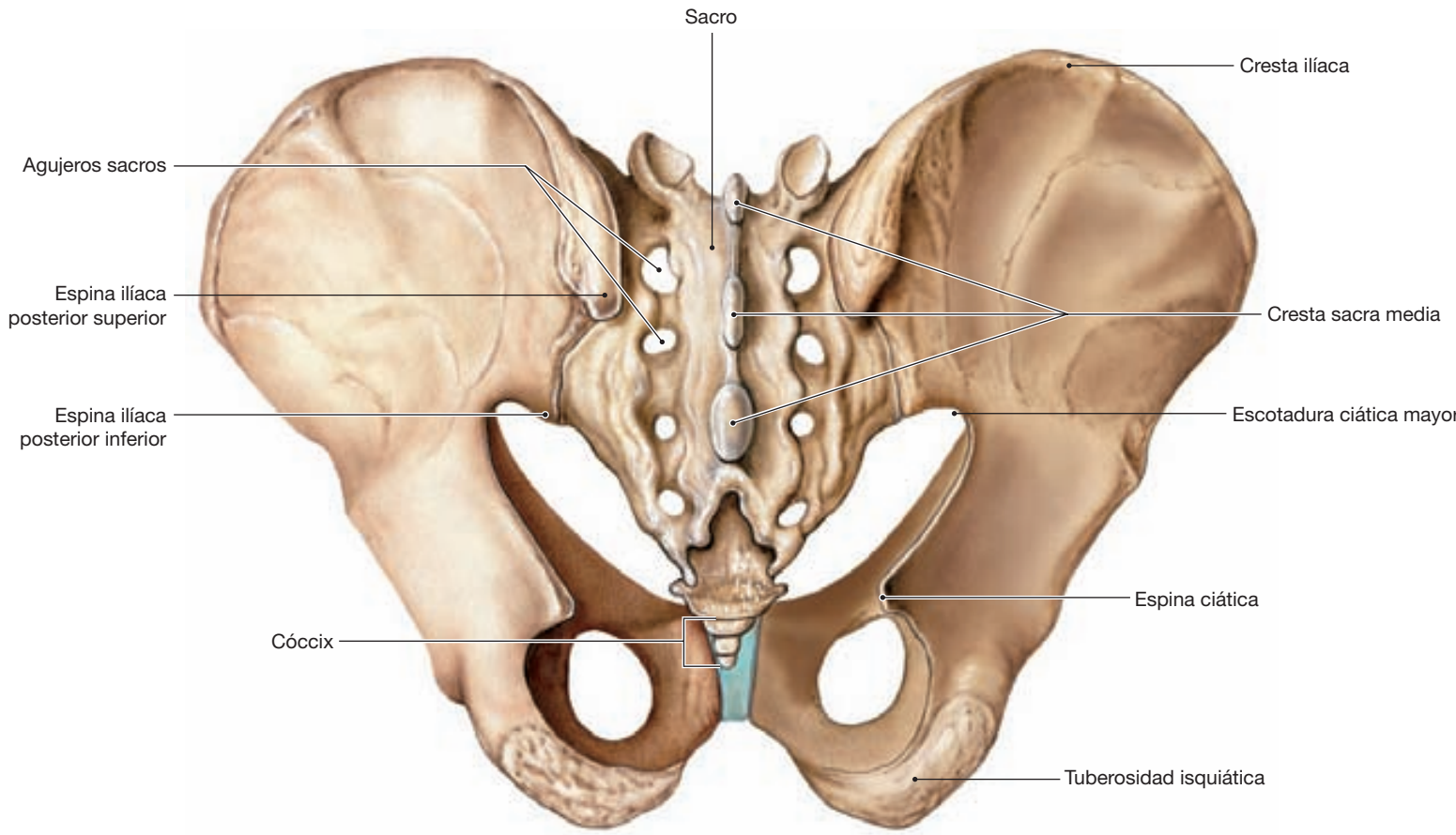


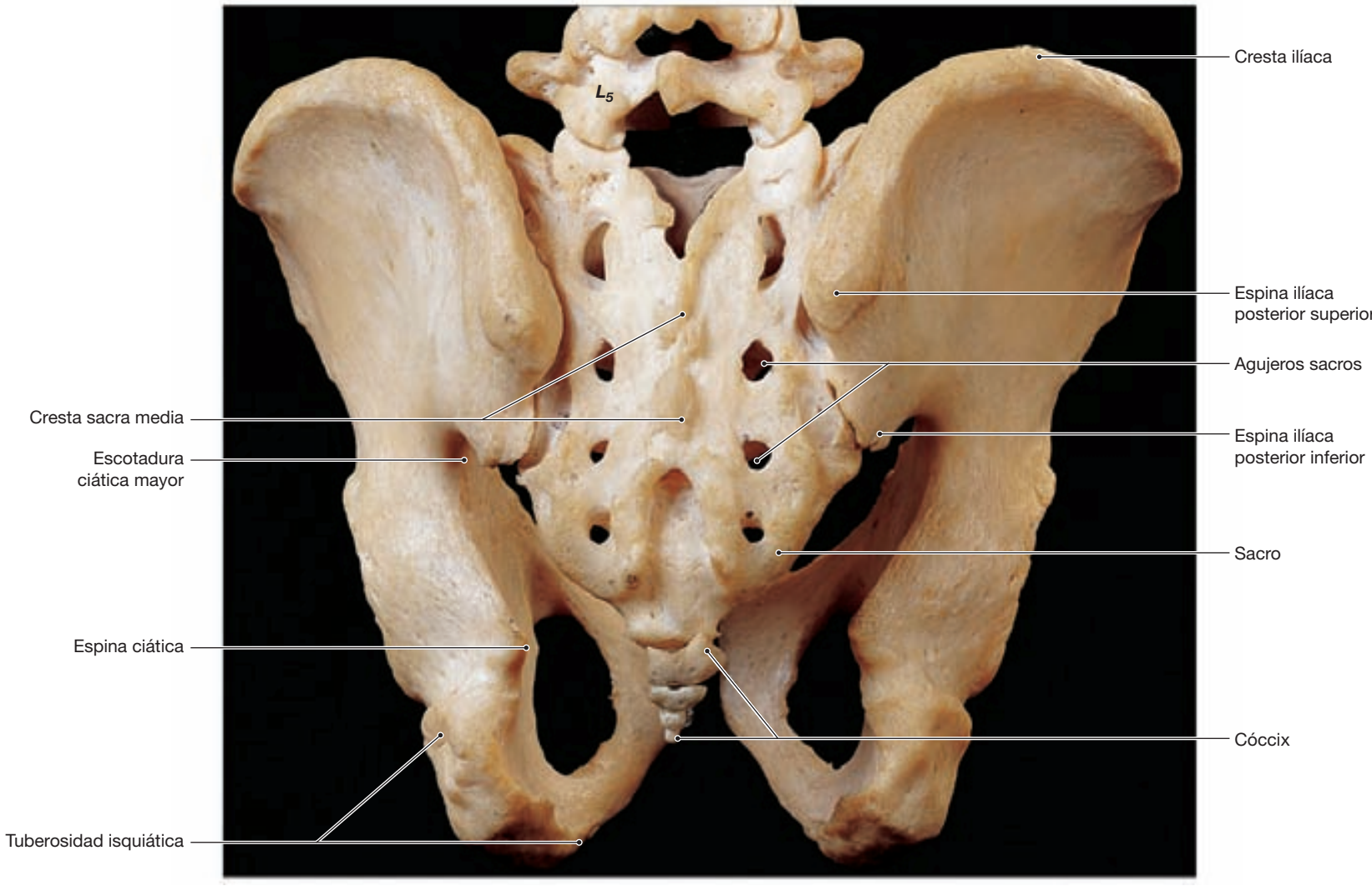




(a) Vista anterior

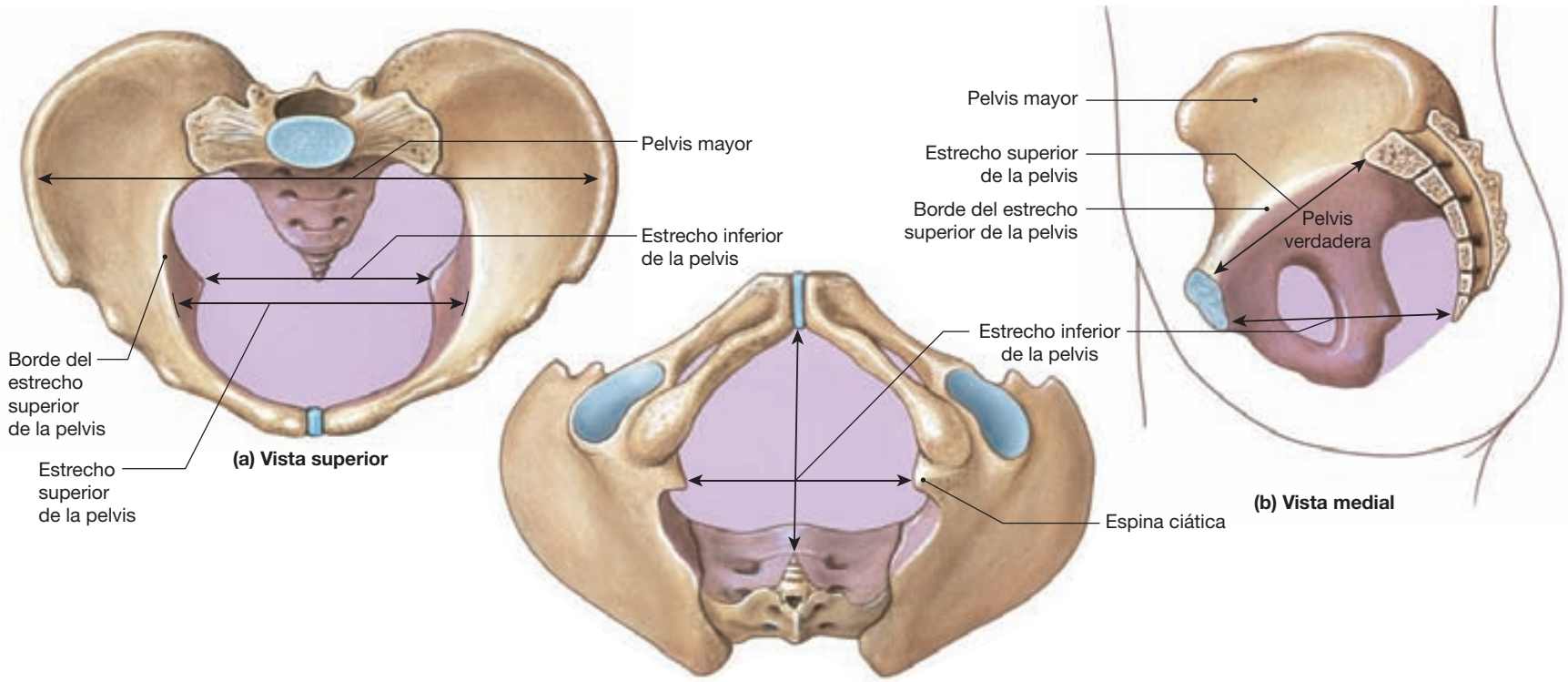
Figura 7.11 Pelvis
Una pelvis consta de los dos huesos coxales, el sacro y el cóccix. **(a)** Vista anterior de la pelvis de un varón adulto. **(b)** Vista posterior.





(b) Vista posterior

Figura 7.11 ***(cont.)***



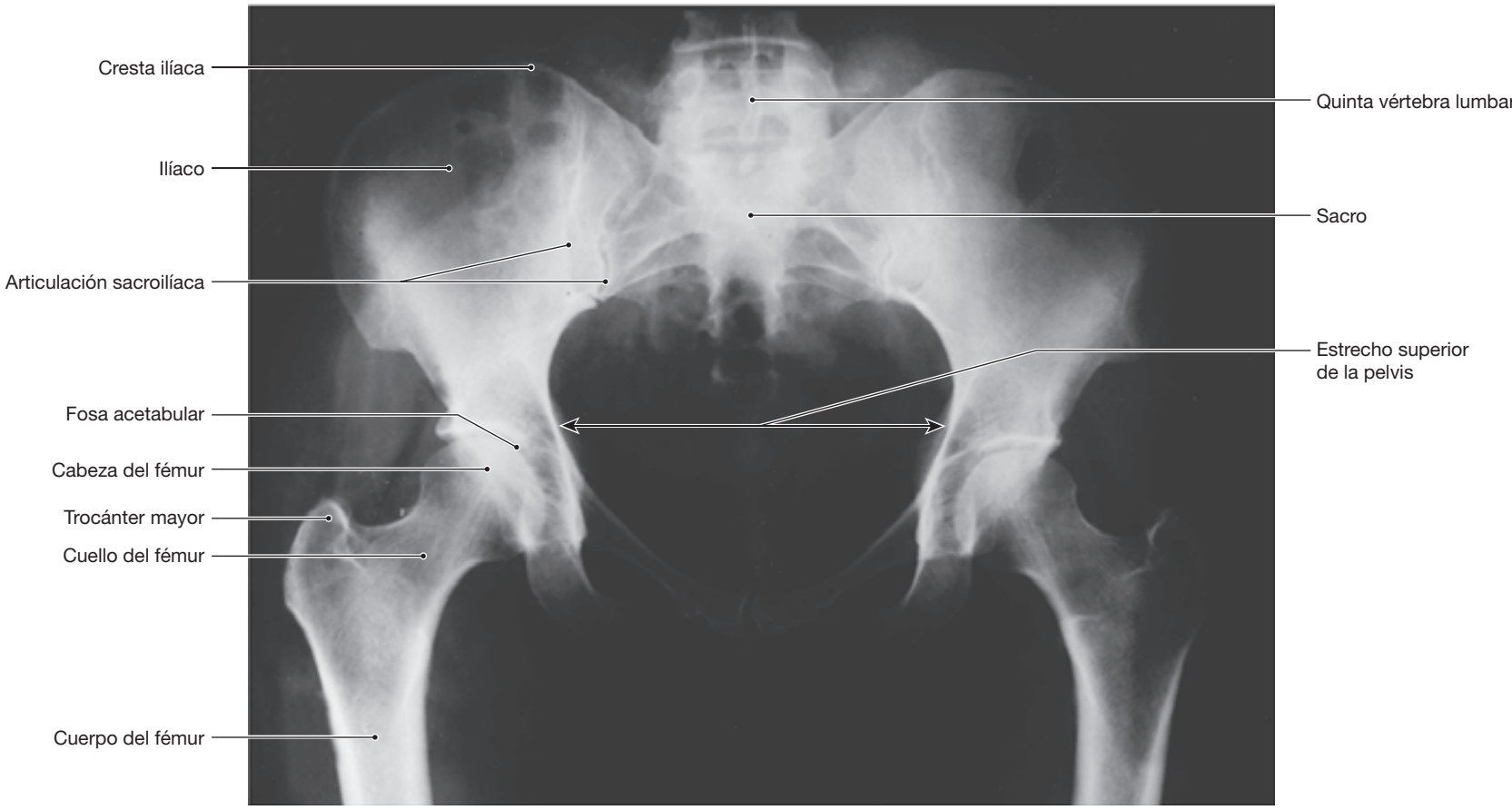


Figura 7.12 Divisiones de la pelvis

La pelvis se subdivide en pelvis verdadera (menor) y pelvis falsa (mayor). **(a)** Vista superior, que ofrece el borde y el estrecho superior de la pelvis en un varón. **(b)** Vista lateral, que muestra los límites de la pelvis verdadera (menor) y falsa (mayor). **(c)** Vista inferior, que indica los límites del estrecho inferior de la pelvis. **(d)** Radiografía (proyección anteroposterior) de la pelvis y los fémures.

inferior de la cavidad abdominal. Las estructuras situadas por debajo de la línea iliopectínea forman la pelvis menor, que fija los límites de la cavidad pélvica [p. 19-20]. Sus componentes son las porciones inferiores de cada ilíaco, los dos huesos del pubis, los dos del isquion, el sacro y el cóccix. En una vista medial (v. figura 7.12b), el límite superior de la pelvis menor es una línea que se extiende hacia cada lado desde la base del sacro hasta el borde superior de la sínfisis del pubis, junto a las líneas iliopectíneas. El margen óseo de la pelvis menor se denomina **borde del estrecho superior de la pelvis.** El espacio encerrado por él es el **estrecho superior de la pelvis.**

El **estrecho inferior de la pelvis** es un orificio enmarcado por los límites inferiores de la pelvis (v. figura 7.12a-c), en concreto por el cóccix, las tuberosidades isquiáticas y el borde inferior de la sínfisis del pubis. En vida, esta región se denomina *periné.* Los músculos de la pelvis forman el suelo de la cavidad pélvica y sostienen los órganos contenidos en su interior. Estos músculos se describen en el capítulo 10.

La figura 7.12d pone de manifiesto el aspecto de la pelvis en una proyección anterior. Su forma es algo distinta en la mujer y en el hombre (v. figura 7.13). Parte de estas diferencias son el resultado de las variaciones en el tamaño corporal y en la masa muscular. Como las mujeres son generalmente menos musculosas que los hombres, la pelvis femenina adulta suele ser más lisa y ligera, y tiene menos huellas salientes para la inserción de músculos o ligamentos. Otros cambios registrados son sus adaptaciones concretas para la maternidad, como los aspectos siguientes:

- El estrecho inferior de la pelvis está ensanchado, en parte debido a la mayor separación existente entre las espinas ciáticas.
- La curvatura sobre el sacro y el cóccix es menor, mientras que en el hombre forma un arco hacia el estrecho inferior de la pelvis.
- El estrecho superior de la pelvis es más ancho y circular.
- La parte inferior de la pelvis es relativamente amplia.
- El ilíaco llega más lejos en sentido lateral, pero no se extiende tan arriba por encima del sacro.
- El *ángulo subpubiano* está más abierto, pues supera los 100° en su parte inferior entre los huesos del pubis.

Estas modificaciones guardan una relación con las siguientes funciones: 1) sostener el peso del feto en desarrollo y el útero, y 2) facilitar el paso del recién nacido a través del estrecho inferior de la pelvis en el momento del parto. Por ende, durante la gestación se produce una hormona que relaja la sínfisis del pubis, lo que permite un cierto movimiento relativo entre los huesos coxales capaz de ampliar más las dimensiones del estrecho superior e inferior de la pelvis, y mejorar algo el desarrollo de este proceso.

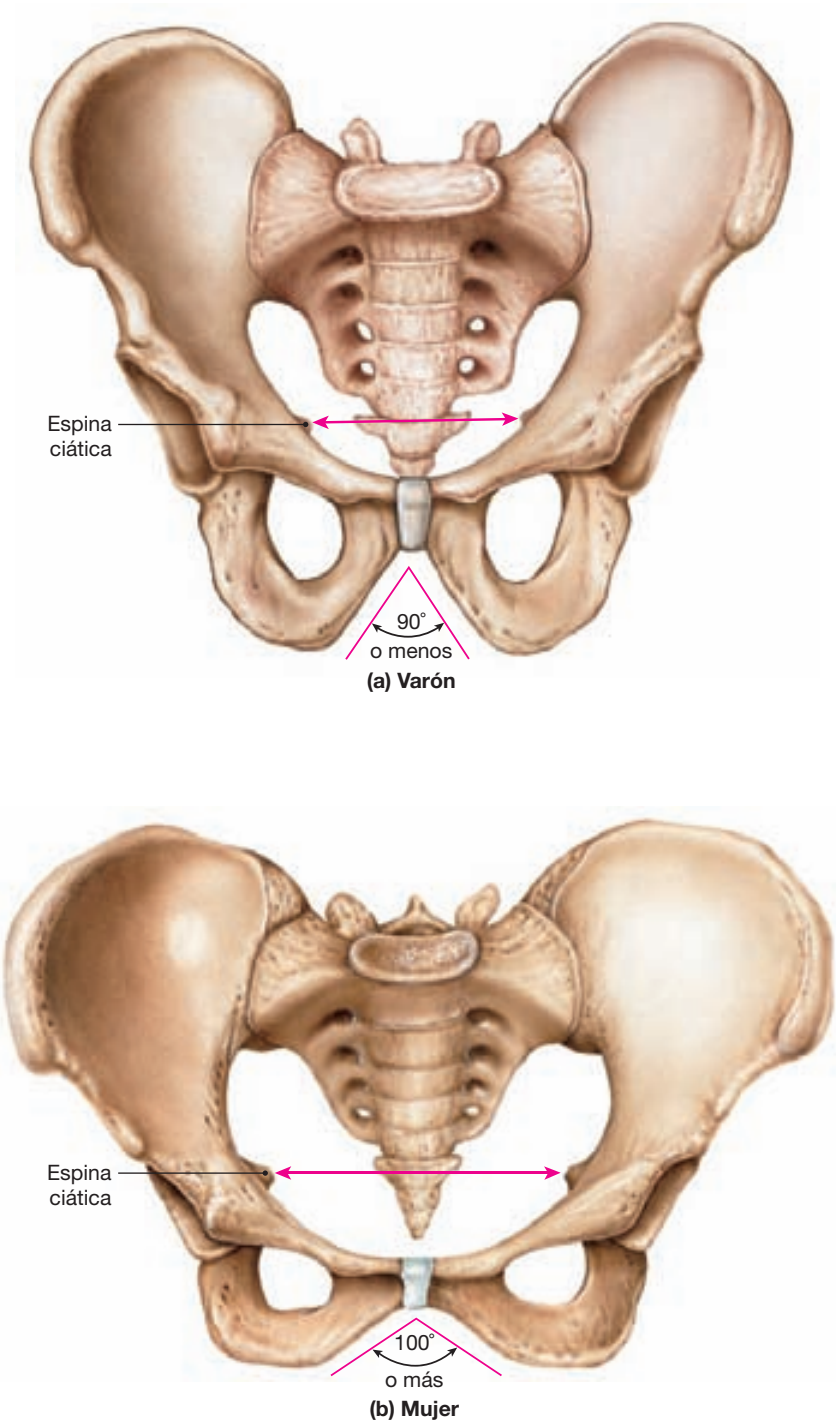


Figura 7.13 Diferencias anatómicas entre la pelvis masculina y la femenina
Las flechas negras indican el ángulo subpubiano. Observe su forma mucho más aguda en la pelvis de un varón **(a)** en comparación con la de una mujer **(b).** Las flechas rojas señalan la anchura del estrecho inferior de la pelvis *(v. figura 7.12).* La pelvis femenina presenta un estrecho inferior mucho más ancho.

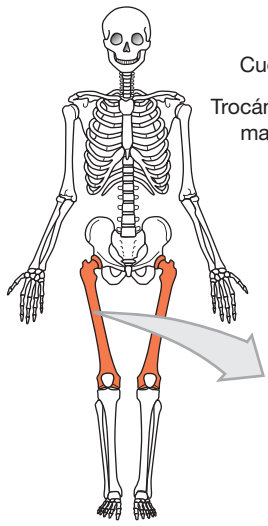
Extremidad inferior [v. figura 7.9]

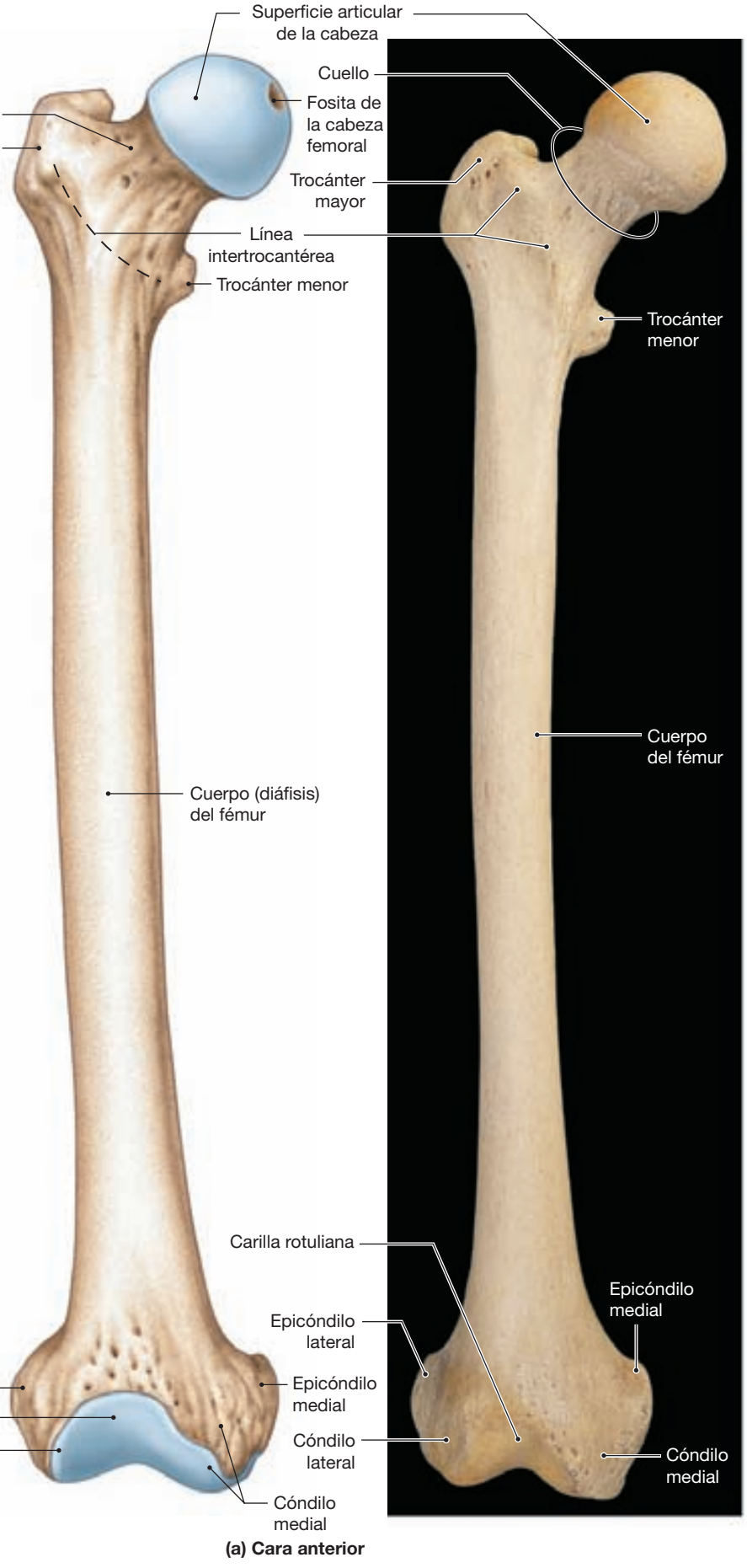
El esqueleto de la extremidad inferior consta del fémur, la rótula (rodilla), la tibia y el peroné, los huesos del tarso en el tobillo, y los huesos metatarsianos y las falanges en el pie (v. figura 7.9). La anatomía funcional de este miembro es muy diferente a la del miembro superior, básicamente por estar encargado de transmitir hasta el suelo el peso del cuerpo.

Fémur [v. figuras 7.9/7.12a/7.14]

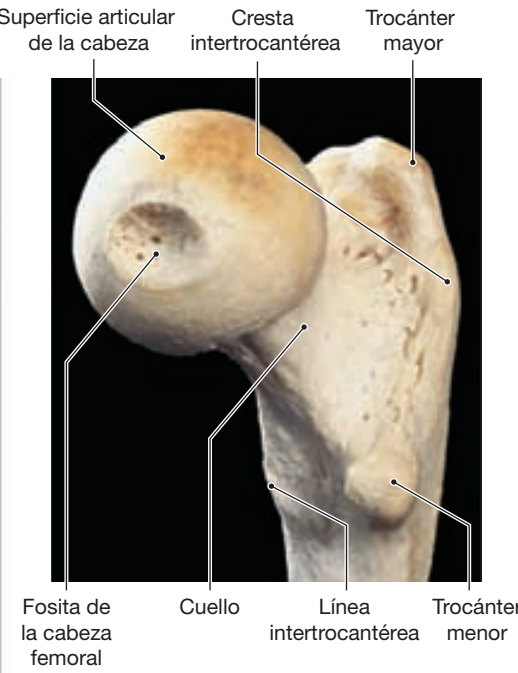
El **fémur** (v. figura 7.14) es el hueso más largo y pesado del cuerpo. Por su parte distal, se articula con la tibia de la pierna en la articulación de la rodilla. En la proximal, su **cabeza** redondeada lo hace con la pelvis por el acetábulo (v. figuras 7.9 y 7.12a). Un ligamento estabilizador (el *ligamento de la cabeza*) se fija a la cabeza femoral en una depresión, la **fosita** (v. figura 7.14b). En una zona distal a la cabeza, el **cuello** se continúa con el cuerpo formando un ángulo de unos 125°. El cuerpo es resistente y sólida, pero toma una curva a lo largo de su recorrido (v. figura 7.14a,d,e). Esta inclinación lateral la ayuda a aguantar el peso y a guardar el equilibrio, y acaba por exagerarse mucho si el esqueleto se debilita; una postura con las piernas arqueadas es característica del raquitismo, trastorno metabólico expuesto en el capítulo 5 [p. 117].

El **trocánter mayor** sobresale en sentido lateral a la altura de la unión entre el cuello y el cuerpo. El **trocánter menor** se eleva desde la superficie posteromedial del fémur. Ambos relieves surgen en la zona de inserción sobre el fémur de unos tendones de gran tamaño. En la cara anterior del fémur, la **línea intertrocantérea** es una elevación que marca el borde distal de la cápsula articular (v. figura 7.14a,c). Esta línea sigue alrededor de la cara posterior, y pasa como **cresta intertrocantérea** a un nivel inferior a los trocánteres (v. figura 7.14b,d). Por debajo de ella, la **línea pectínea** (medial) y la **tuberosidad glútea** (lateral) señalan la inserción del *músculo pectíneo* y el *músculo glúteo mayor,* respectivamente. Una prominencia sobresaliente, la **línea áspera** (*aspera,* rugosa), recorre por su centro la cara posterior del cuerpo femoral. Esta cresta traza la zona de inserción para otro grupo

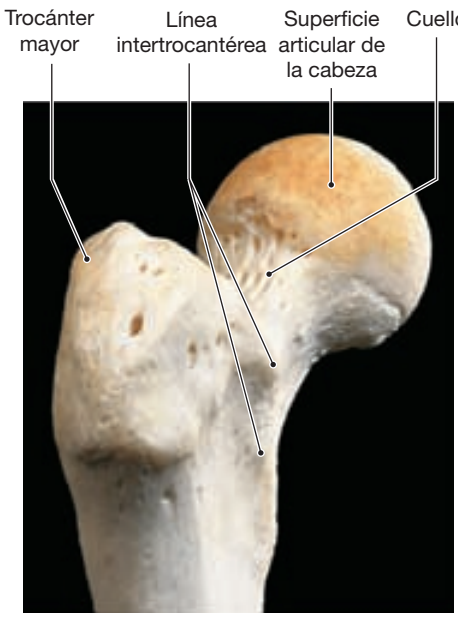




(a) Cara anterior



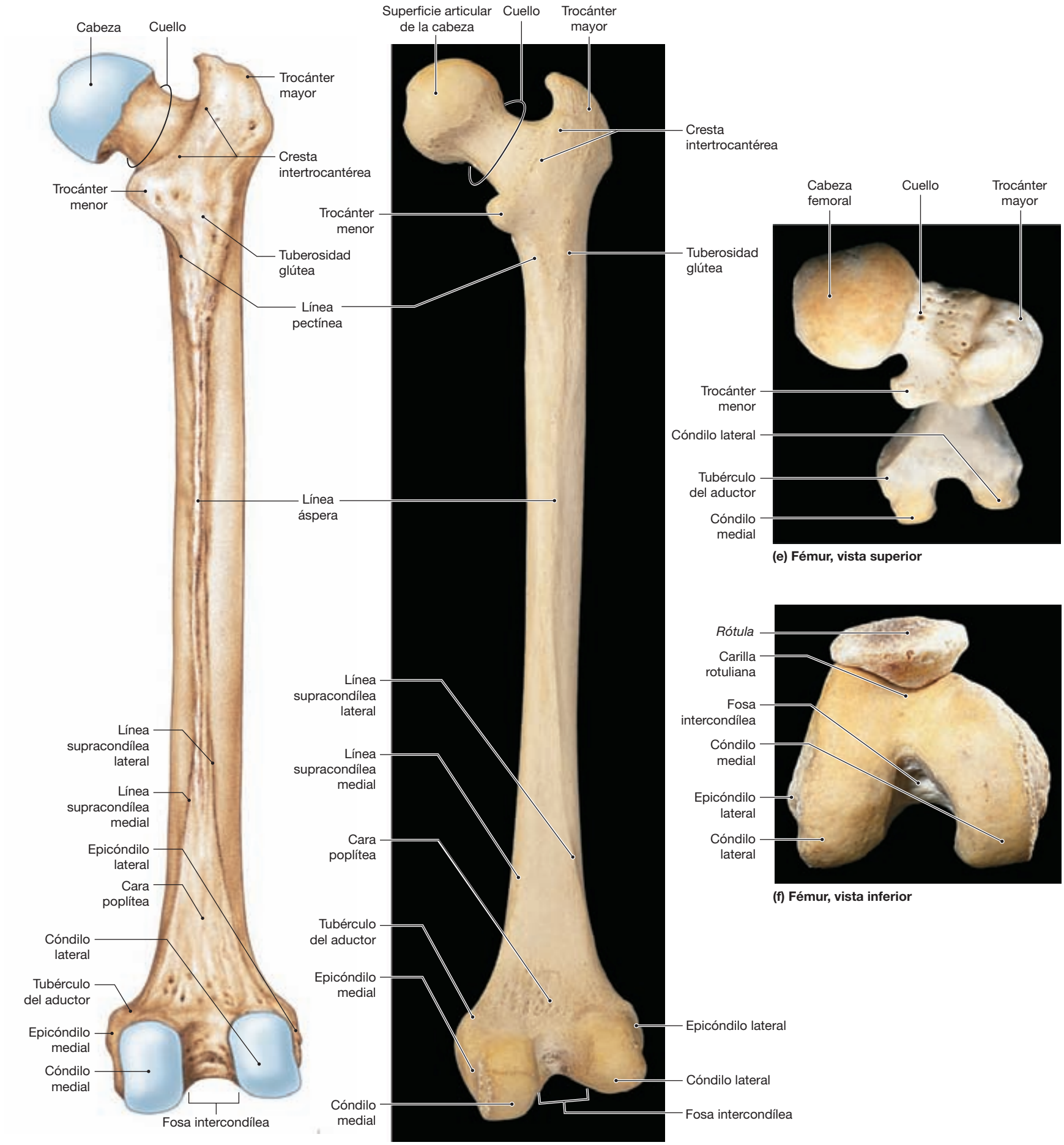
(b) Cabeza femoral, vista medial



(c) Cabeza femoral, vista lateral

Figura 7.14 Fémur

(a) Detalles presentes sobre la cara anterior del fémur derecho. **(b)** Vista medial de la cabeza femoral. **(c)** Vista lateral de la cabeza femoral. **(d)** Detalles presentes sobre la cara posterior del fémur derecho. **(e)** Vista superior del fémur. **(f)** Vista inferior del fémur derecho, que muestra las superficies articulares participantes en la articulación de la rodilla.



(d) Cara posterior

(e) Fémur, vista superior

(f) Fémur, vista inferior

Figura 7.14 *(cont.)*

muscular potente de la pelvis (los *músculos aductores*). Al llegar a su parte distal, la línea áspera se divide en una **línea supracondílea medial** y otra **lateral,** que forman una región triangular aplanada, la **cara poplítea.** La línea supracondílea medial acaba en una protuberancia rugosa elevada, el **tubérculo del aductor,** situado sobre el **epicóndilo medial.** La línea supracondílea lateral termina en el **epicóndilo lateral.** Los **cóndilos medial** y **lateral** son suavemente redondeados y ocupan una posición básicamente distal a los epicóndilos. Los cóndilos siguen recorriendo la superficie inferior del fémur hasta llegar a la cara anterior, pero la fosa intercondílea no lo hace. Por esta razón, las caras articulares lisas se fusionan, y producen una superficie articular con los bordes laterales elevados. Se trata de la **carilla rotuliana,** sobre la que se desliza la rótula (v. figura 7.14a,f). En su cara posterior, los dos cóndilos están separados por una profunda **fosa intercondílea.**

Rótula [v. figuras 7.14a,f/7.15]

La **rótula** es un gran hueso sesamoideo que se forma en el interior del tendón del *cuádriceps femoral,* un grupo de músculos encargado de estirar (extender) la rodilla. Este hueso refuerza el *tendón del cuádriceps,* protege la superficie anterior de la articulación de la rodilla y aumenta la fuerza de contracción del cuádriceps femoral. La rótula tiene forma triangular y una cara anterior convexa rugosa (v. figura 7.15a). Tiene una **base** superior ancha y un **vértice** inferior más o menos puntiagudo. Su superficie áspera y su amplia base corresponden a la inserción del tendón del cuádriceps (a lo largo de las superficies anterior y superior) y del *ligamento rotuliano* (a lo largo de sus caras anterior e inferior). El ligamento rotuliano se extiende desde el vértice de la rótula hasta la tibia. La superficie posterior de la rótula (v. figura 7.15b) presenta dos **carillas** cóncavas *(medial* y *lateral)* para su articulación con los cóndilos medial y lateral del fémur (v. figura 7.14a,f).

Tibia [v. figura 7.16]

La **tibia** es el hueso medial y el más grande de la pierna (v. figura 7.16). Los cóndilos medial y lateral del fémur se articulan con los **cóndilos medial** y **lateral** de su extremo proximal. El cóndilo lateral sobresale más y presenta una carilla para su articulación con el peroné, formando la *articulación tibioperonea superior.* Una cresta, la **eminencia intercondílea,** separa los cóndilos medial y lateral de la tibia (v. figura 7.16b,d). Sobre ella hay dos **tubérculos (medial** y **lateral).** La cara anterior de la tibia cercana a los cóndilos presenta una **tuberosidad tibial** rugosa y prominente, que puede palparse sin problemas bajo la piel de la pierna. Esta tuberosidad señala la inserción del robusto ligamento rotuliano.

El **borde anterior** es una cresta que nace en el extremo distal de la tuberosidad tibial y se extiende en sentido distal a lo largo de la cara anterior de la tibia. Este borde puede palparse a través de la piel. El borde lateral del cuerpo es la **cresta interósea;** desde ella surge una lámina colágena que llega al borde medial del peroné. Por su parte distal, la tibia se estrecha y su borde medial acaba en una gran eminencia, el **maléolo medial** (*malleolus,* martillo). La cara inferior de la tibia (v. figura 7.16c) forma una articulación en bisagra con el *astrágalo,* el hueso proximal del tobillo. A este nivel, la tibia transmite al pie el peso del cuerpo recibido del fémur en la rodilla, a través de la articulación del tobillo, o *articulación astragalocrural.* El maléolo medial constituye un refuerzo medial de esta articulación, que evita el deslizamiento lateral de la tibia sobre el astrágalo. La superficie posterior de la tibia lleva una saliente, la **línea del sóleo,** o *línea poplítea* (v. figura 7.16d). Su presencia marca la inserción de varios músculos de la pierna, como el *poplíteo* y el *sóleo.*

Peroné [v. figura 7.16]

El **peroné** es un hueso delgado que va paralelo al borde lateral de la tibia (v. figura 7.16). Su **cabeza,** o *cabeza peronea,* se articula con la cara inferior y posterior del cóndilo lateral de la tibia a lo largo de su borde lateral. El borde medial de su fino cuerpo está unido a la tibia por la *membrana interósea de la pierna,* que va desde la **cresta interósea** del peroné al de la tibia. La vista de un corte que pase a través de la diáfisis de la tibia y el peroné (v. figura 7.16e) muestra la ubicación de las crestas interóseas tibial y peronea y de la *membrana interósea de la pierna* que salta entre ellos. Esta membrana sirve para estabilizar ambos huesos en su posición y ofrece una superficie complementaria para la inserción de músculos.

El peroné queda excluido de la articulación de la rodilla y no transmite ningún peso al tobillo y al pie. Sin embargo, constituye un lugar importante para las inserciones musculares. Por ende, en su extremo distal brinda un apoyo lateral a la articulación del tobillo. Esta prolongación, el **maléolo lateral,** aporta estabilidad a la articulación al impedir el deslizamiento medial de la tibia sobre la superficie del astrágalo.

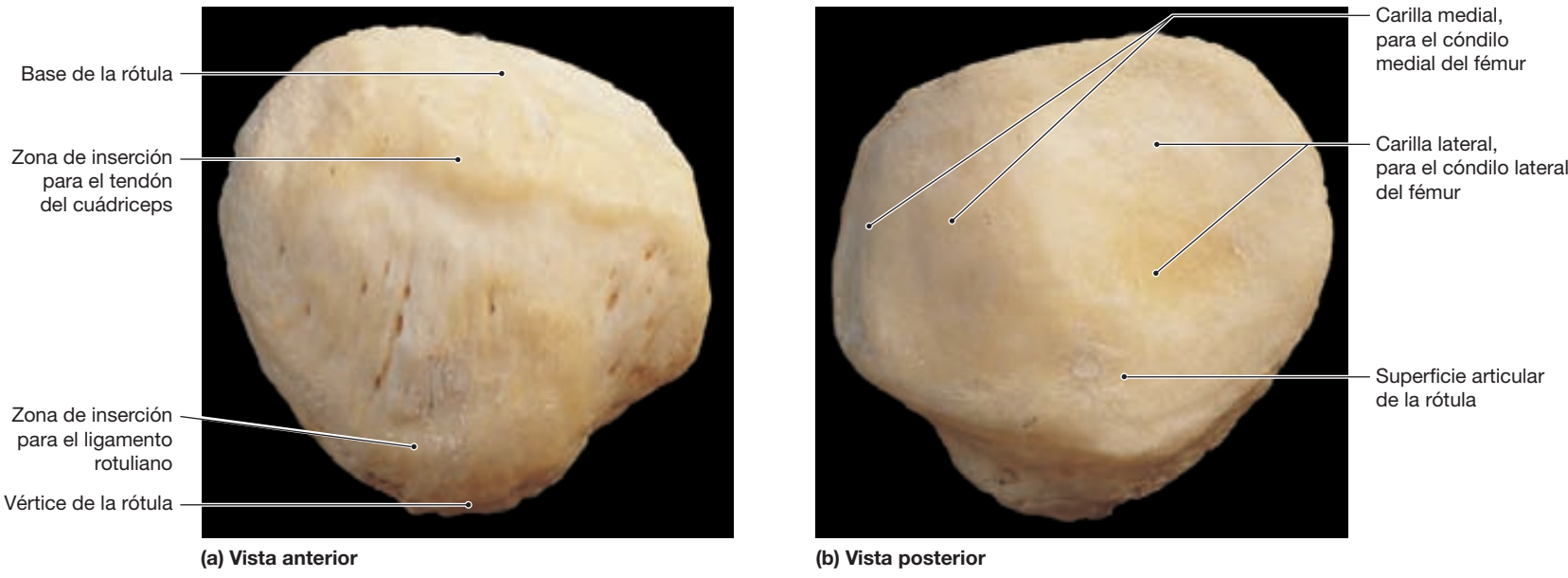
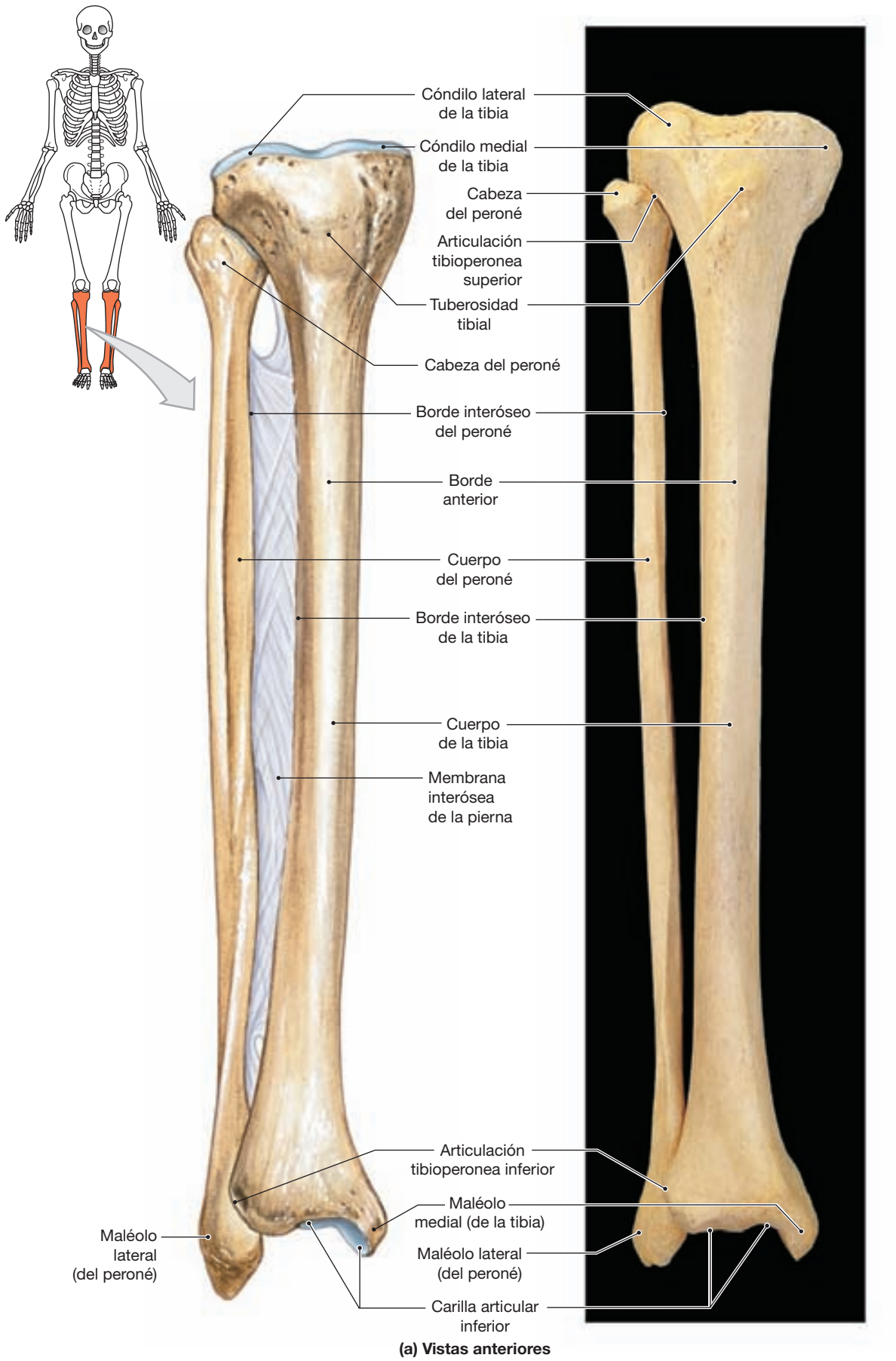
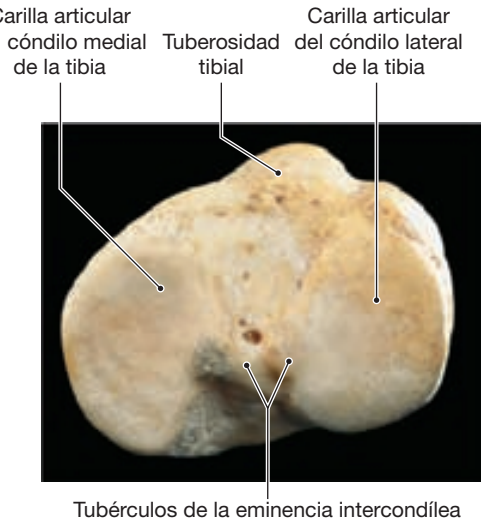

Base de la rótula
Zona de inserción para el tendón del cuádriceps
Zona de inserción para el ligamento rotuliano
Vértice de la rótula
(a) Vista anterior
Carilla medial, para el cóndilo medial del fémur
Carilla lateral, para el cóndilo lateral del fémur
Superficie articular de la rótula
(b) Vista posterior

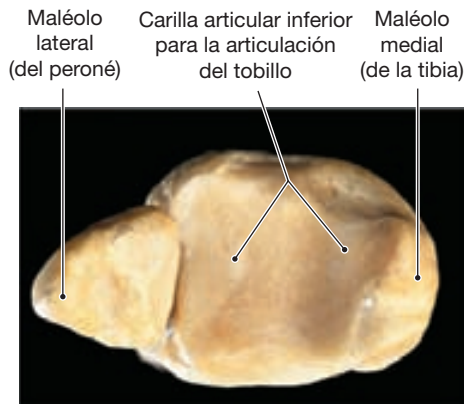
Figura 7.15 Rótula
Este hueso sesamoideo se forma en el interior del tendón del cuádriceps femoral. **(a)** Cara anterior de la rótula derecha. **(b)** Cara posterior.



(a) Vistas anteriores


Carilla articular del cóndilo medial de la tibia
Tuberosidad tibial
Carilla articular del cóndilo lateral de la tibia
Tubérculos de la eminencia intercondílea

(b) Superficie articular superior de la tibia



(c) Superficie articular inferior de la tibia y el peroné

Figura 7.16 Tibia y peroné

(a) Vistas anteriores de la tibia y el peroné derechos. **(b)** Vista superior del extremo proximal de la tibia. **(c)** Vista inferior de las superficies distales de la tibia y el peroné, que muestran las caras participantes en la articulación del tobillo. *(Continúa en la página siguiente.)*

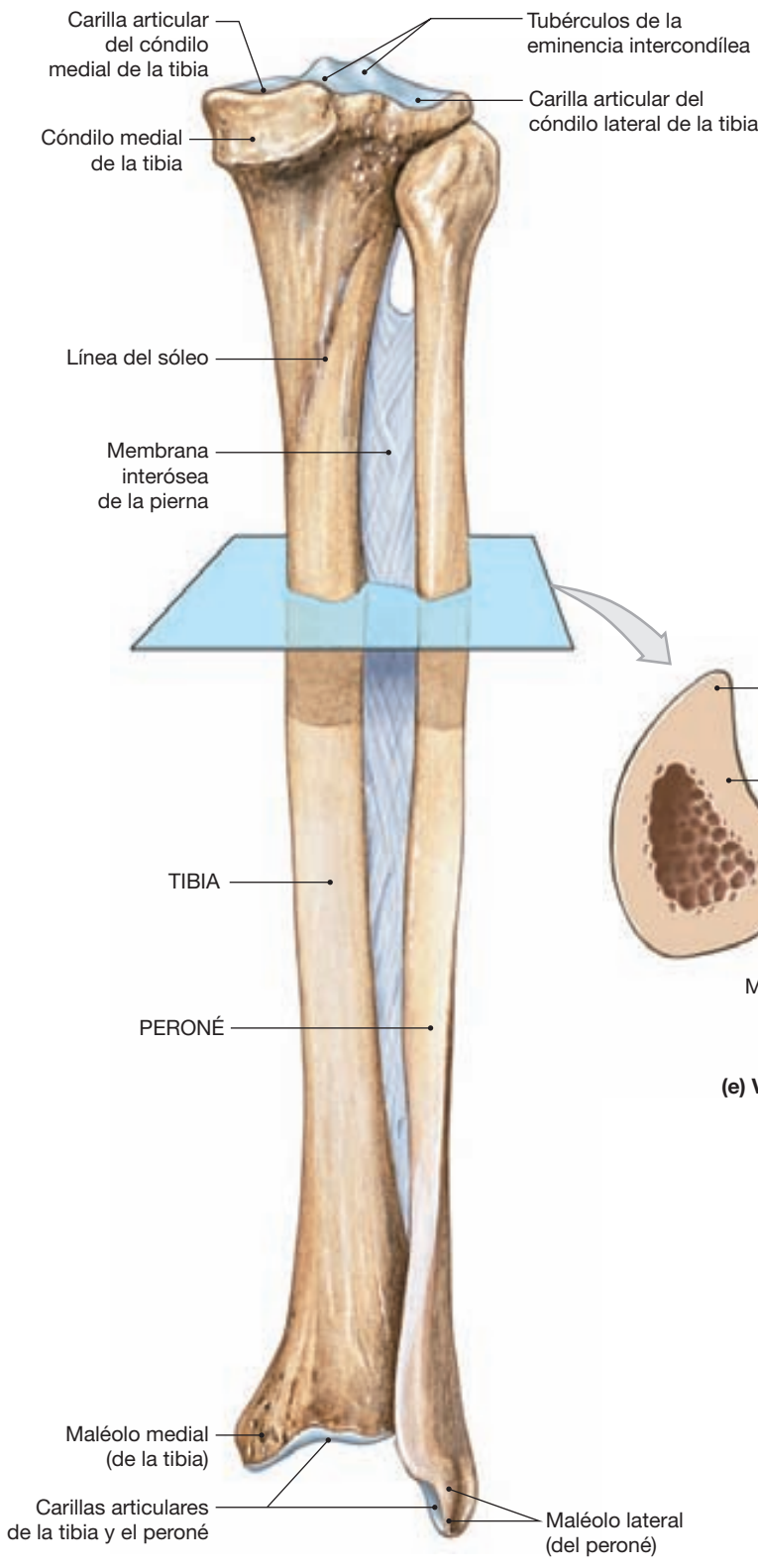
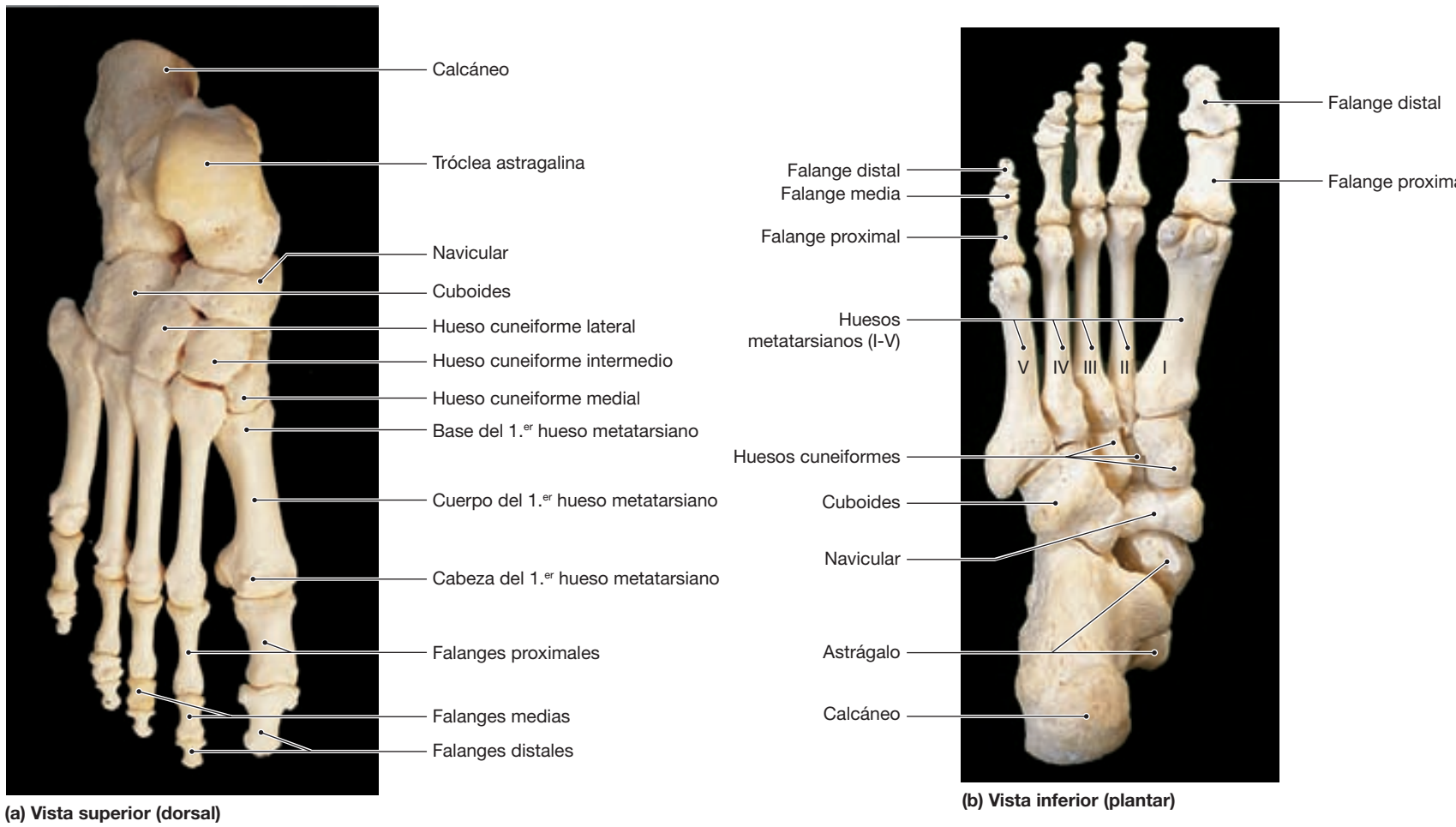

Carilla articular del cóndilo medial de la tibia
Tubérculos de la eminencia intercondílea
Carilla articular del cóndilo lateral de la tibia
Cóndilo medial de la tibia
Línea del sóleo
Membrana interósea de la pierna
TIBIA
PERONÉ
Maléolo medial (de la tibia)
Carillas articulares de la tibia y el peroné
Maléolo lateral (del peroné)
Borde anterior
Tibia
Peroné
Membrana interósea de la pierna
(e) Vista seccional
Tubérculo medial de la eminencia intercondílea
Tubérculo lateral de la eminencia intercondílea
Eminencia intercondílea
Carilla articular del cóndilo medial de la tibia
Cóndilo lateral de la tibia
Cóndilo medial de la tibia
Cabeza del peroné
Línea del sóleo
TIBIA
PERONÉ
Maléolo medial (de la tibia)
Carillas articulares de la tibia y el peroné
Maléolo lateral (del peroné)
(d) Vistas posteriores

Figura 7.16 ***(cont.)***
(d) Vistas posteriores de la tibia y el peroné derechos. **(e)** Vista seccional del plano indicado en la parte **(d).**

Huesos del tarso [v. figuras 7.17/7.18]

El tobillo, o **tarso,** contiene siete **huesos del tarso:** el *astrágalo,* el *calcáneo,* el *cuboides,* el *navicular* y los tres *huesos cuneiformes* (v. figuras 7.17 y 7.18).

- El **astrágalo** es el segundo hueso del pie por su tamaño. Transmite el peso del cuerpo en sentido anterior desde la tibia hacia los dedos. La articulación fundamental de la tibia tiene lugar con el astrágalo; en ella participa la cara superior lisa de la **tróclea** astragalina. Esta tróclea



(a) Vista superior (dorsal) **(b) Vista inferior (plantar)**

Figura 7.17 Huesos del tobillo y el pie, parte I
(a) Vista superior de los huesos del pie derecho. Obsérvese la orientación de los huesos del tarso que conducen el peso del cuerpo hasta el talón y las superficies plantares del pie. **(b)** Vista inferior (plantar).

tiene unas prolongaciones lateral y medial que se articulan con el maléolo lateral (del peroné) y el maléolo medial (de la tibia). Las superficies laterales del astrágalo son rugosas en la zona donde los ligamentos lo conectan con la tibia y el peroné, lo que estabiliza aún más la articulación del tobillo.

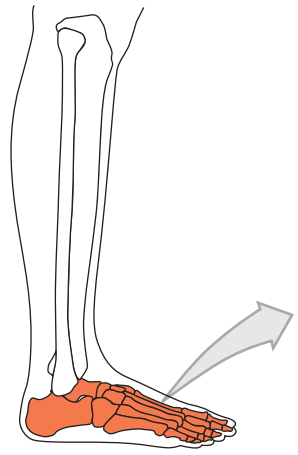
- El **calcáneo,** o hueso del talón, es el hueso del tarso más grande y puede palparse con facilidad. En una posición normal de bipedestación, la mayor parte del peso se transfiere desde la tibia al calcáneo a través del astrágalo, y a continuación llega al suelo. La cara posterior del calcáneo es una protuberancia rugosa con forma de pomo, que presta su zona de inserción al *tendón calcáneo (tendón de Aquiles)* procedente de los potentes músculos de la pantorrilla. Estos músculos elevan el talón y levantan del suelo la planta del pie, tal como sucede al ponerse de puntillas. Las superficies superior y anterior del calcáneo presentan unas carillas lisas para su articulación con otros huesos del tarso.
- El **cuboides** se articula con las caras anterior y lateral del calcáneo.
- El **navicular,** situado en el lado medial del tobillo, se articula con la cara anterior del astrágalo. Su superficie distal lo hace con los tres huesos cuneiformes.
- Los tres **huesos cuneiformes** tienen forma de cuña y están dispuestos en hilera, formando articulaciones entre ellos, y con una ubicación anterior al navicular. Reciben su nombre según la posición que ocupan: **huesos cuneiforme medial, cuneiforme intermedio** y **cuneiforme lateral.** Por su parte proximal, se articulan con la cara anterior del navicular. El hueso cuneiforme lateral también lo hace con la cara medial del cuboides. Las caras distales del cuboides y de los huesos cuneiformes se articulan con los huesos metatarsianos del pie.

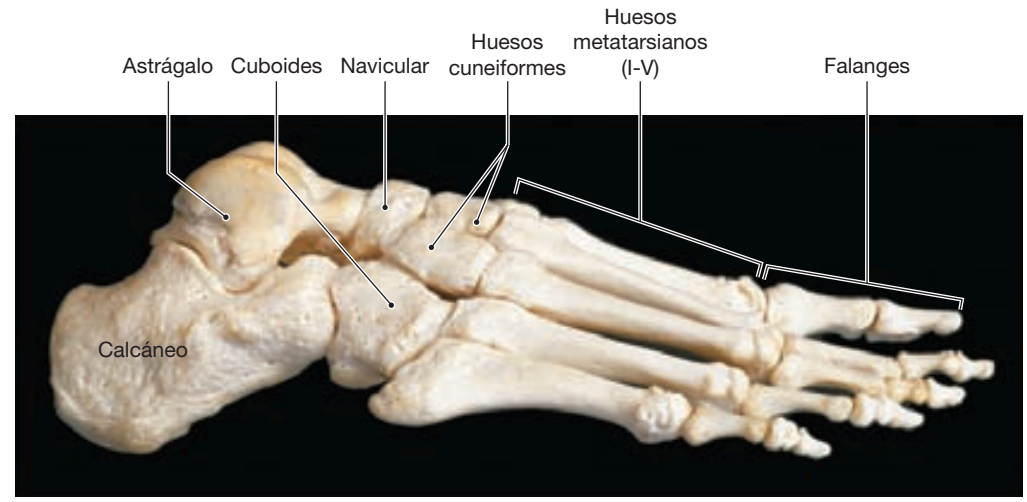
Huesos metatarsianos y falanges [v. figuras 7.17/7.18]

Los **huesos metatarsianos** son cinco huesos largos que forman el *metatarso* (o porción distal) del pie (v. figuras 7.17 y 7.18). En conjunto, se identifican con los números romanos I-V, yendo desde la zona medial hacia la lateral de la planta. Por su parte proximal, los tres primeros huesos metatarsianos se articulan con los tres huesos cuneiformes, y los dos últimos lo hacen con el cuboides. Por la distal, cada hueso metatarsiano se articula con una falange proximal diferente. Los metatarsianos sirven para sostener el peso del cuerpo en posición de bipedestación, al caminar y al correr.

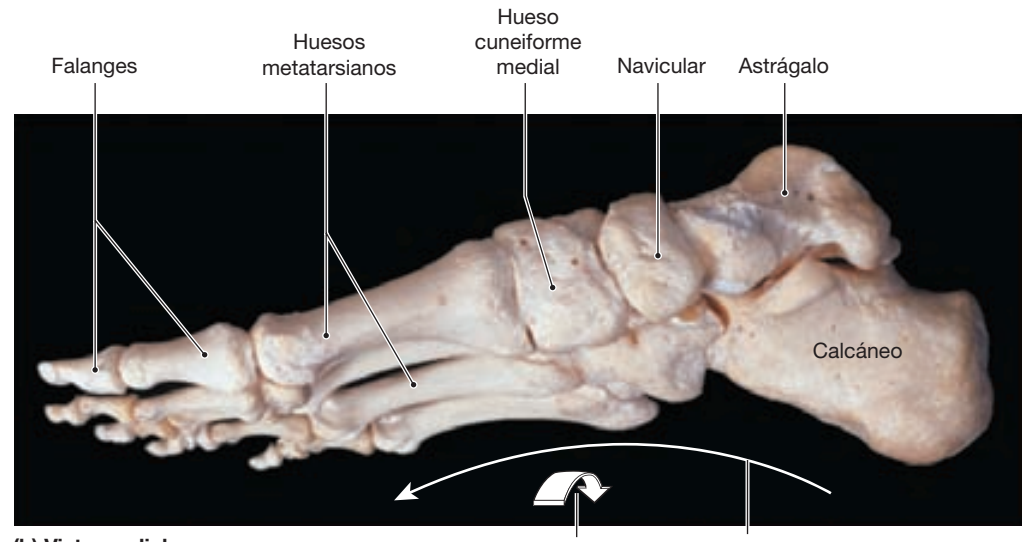
Las 14 **falanges,** o huesos de los dedos, presentan la misma organización anatómica que las falanges de la mano. El primer dedo, o **dedo gordo,** posee dos falanges (falange proximal y falange distal), y cada uno de los otros cuatro tiene tres (proximal, media y distal).

Arcos de la bóveda plantar [v. figura 7.18b] Los arcos del pie están diseñados para cumplir dos tareas contrapuestas. En primer lugar, el pie tiene que asumir el peso del cuerpo a la vez que se adapta a las diversas superficies con las que tropieza al caminar o al correr. Para hacerlo, los arcos deben poseer la suficiente flexibilidad para aplacar las fuerzas sin dejar de amoldarse al contorno del firme que presente el terreno. En segundo lugar, el pie ha de funcionar como una plataforma estable, capaz de mantener el peso del cuerpo en bipedestación. Para ello, sus arcos deben actuar como una palanca rígida que distribuya la carga recibida por todo el pie.





(a) Vista lateral



(b) Vista medial

Figura 7.18 Huesos del tobillo y el pie, parte II
(a) Vista lateral. **(b)** Vista medial, que ofrece la posición relativa ocupada por los huesos del tarso y la orientación de los arcos transversal y longitudinal.

La transmisión del peso tiene lugar a lo largo del **arco longitudinal** del pie (**v. figura 7.18b**). Los ligamentos y los tendones se encargan de mantenerlo al unir el calcáneo con las porciones distales de los huesos metatarsianos. La parte lateral del pie transfiere la mayor parte del peso corporal en condiciones normales de bipedestación. Esta porción calcánea del arco tiene una curvatura menor que la medial o astragalina. Además, la porción astragalina también presenta mayor elasticidad que la parte calcánea del arco longitudinal. Como consecuencia, la superficie plantar medial permanece elevada, y los músculos, nervios y vasos sanguíneos encargados de la cara inferior del pie no quedan oprimidos entre los huesos metatarsianos y el suelo. Esta elasticidad también sirve para absorber los impactos que acompañan a los cambios bruscos en las cargas recibidas por el peso. Por ejemplo, los esfuerzos ocasionados al correr o al practicar ballet quedan amortiguados por la elasticidad que muestra esta porción del arco longitudinal. Como el grado de curvatura varía desde el borde medial al lateral del pie, también existe un **arco transversal.** En el trastorno denominado *pies planos,* los arcos normales desaparecen («se hunden») o nunca llegan a formarse. Las personas con esta afección no pueden caminar largos trayectos.

En posición normal de bipedestación, el peso del cuerpo se reparte equitativamente entre el calcáneo y los extremos distales de los huesos metatarsianos. La proporción transferida hacia adelante depende de la posición del pie y de la ubicación del peso corporal. Durante la flexión dorsal del pie, como sucede al «clavar los tacones», toda la carga descansa sobre el calcáneo. En la flexión plantar y al «ponerse de puntillas», el astrágalo y el calcáneo trasladan el peso hacia los huesos metatarsianos y las falanges a través de los componentes más anteriores del tarso.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tres elementos configuran el hueso coxal?
2. El peroné no participa en la articulación de la rodilla, ni tampoco la flexiona; pero cuando está fracturado cuesta caminar. ¿Por qué?
3. Al saltar las escaleras traseras de su casa, Mark, un niño de 10 años, cae sobre su talón derecho y se rompe el pie. ¿Cuál es el hueso fracturado con mayor probabilidad?
4. Describa al menos tres diferencias entre la pelvis femenina y la masculina.
5. ¿Dónde descansa el peso del cuerpo durante la flexión dorsal? ¿Y durante la flexión plantar?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Variabilidad individual en el sistema óseo [v. tablas 7.1/7.2]

Cualquier estudio integral de un esqueleto humano puede revelar una información importante acerca de ese individuo. Por ejemplo, existen diferencias raciales típicas en ciertas porciones, sobre todo en el cráneo, y el estado de diversas crestas y de la masa ósea general puede permitir efectuar un cálculo

Nota clínica

Problemas con el tobillo y el pie Los arcos del pie ya suelen estar presentes al nacer. Sin embargo, a veces no se forman correctamente. En el **pie equino varo congénito (pie zambo),** el desarrollo anormal del músculo deforma los huesos y las articulaciones en crecimiento. Este trastorno puede afectar a un pie o a ambos, y ser un cuadro leve, moderado o grave. En la mayoría de los casos, la tibia, el tobillo y el pie están alterados; el arco longitudinal se encuentra exagerado, y los pies aparecen vueltos en sentido medial e invertidos. Si participan los dos pies, las plantas miran una hacia la otra. El proceso, que aparece en 2 de cada 1.000 nacimientos, presenta una frecuencia más o menos dos veces mayor en los niños que en las niñas. Su tratamiento inmediato durante la lactancia mediante escayolas u otros medios sirve para atenuar el problema, y no llegan ni a la mitad los casos que necesitan operarse.

Una persona con los **pies planos** ha perdido el arco longitudinal o no lo ha adquirido jamás. El «hundimiento de los arcos» sucede cuando los tendones y los ligamentos se estiran y disminuye su elasticidad. Hasta el 40% de los adultos pueden tener pies planos, pero mientras no duelan no hace falta emprender ninguna acción al respecto. Las personas cuyo desarrollo de los arcos sea anormal es más probable que padezcan lesiones metatarsianas. Entre sus posibles candidatos figuran los obesos y los que tengan que estar de pie o caminar constantemente por razones de trabajo. Los niños poseen unas articulaciones muy móviles y unos ligamentos elásticos, con lo que presentan unos pies planos en general flexibles. Sólo parecen planos en bipedestación y el arco surge al elevarse sobre los dedos o al sentarse. En la mayoría de los casos, este proceso desaparece con el crecimiento.

Los *pies en garra* se producen por alguna alteración muscular. En estas personas, el arco longitudinal medio está exagerado porque los flexores plantares dominan sobre los dorsales. Entre sus causas figuran la degeneración muscular y la parálisis nerviosa. El trastorno tiende a empeorar progresivamente con la edad.

Hasta los tobillos y los pies normales se encuentran sometidos a una diversidad de sobrecargas durante las actividades cotidianas. En un **esguince,** un ligamento se estira hasta llegar a un punto en el que parte de sus fibras colágenas se desgarran. El ligamento sigue siendo funcional, y la estructura de la articulación no se ve afectada. La causa más frecuente de un esguince de tobillo es la inversión enérgica del pie que causa una distensión del ligamento lateral. En general, se necesita una compresa de hielo para reducir la hinchazón. Con reposo y apoyo, el tobillo debería quedar restablecido en un plazo de unas 3 semanas.

En otros incidentes más graves, todo el ligamento puede rasgarse, o haber una conexión tan fuerte entre él y el maléolo lateral que se rompa el hueso en vez del ligamento. Por regla general, un hueso fracturado consolida con mayor rapidez y eficacia que un ligamento seccionado del todo. Estos traumatismos pueden ir acompañados de una luxación.

En la **fractura de bailarín,** lo que se rompe es la porción proximal del quinto metatarsiano. La mayoría de los casos suceden mientras el peso del cuerpo está apoyado sobre el arco longitudinal del pie. Un desplazamiento repentino del peso desde la porción medial del arco al borde lateral menos elástico fractura el quinto metatarsiano cerca de su articulación distal.

TABLA 7.1 Diferencias sexuales en el esqueleto humano adulto

Región/característica	Hombre	Mujer
CRÁNEO		
Aspecto general	Más pesado; superficie más rugosa	Más ligero; superficie más lisa
Frente	Más inclinada	Más vertical
Senos	Más grandes	Más pequeños
Cráneo	Aproximadamente un 10% más grande (como promedio)	Aproximadamente un 10% más pequeño
Mandíbula	Más grande y robusta	Más ligera y pequeña
Dientes	Más grandes	Más pequeños
PELVIS		
Aspecto general	Estrecha; robusta; más pesada; superficie más rugosa	Ancha; ligera; superficie más lisa
Estrecho superior	Forma de corazón	Ovalado o redondo
Fosa ilíaca	Más profunda	Más superficial
Ilíaco	Más vertical; llega más arriba	Menos vertical; llega menos arriba por encima de la articulación sacroilíaca
Ángulo inferior a la sínfisis del pubis	Menor de 90°	100° como mínimo
Acetábulo	Orientación lateral	Orientación algo anterior, así como lateral
Agujero obturado	Ovalado	Triangular
Espina ciática	Dirección medial	Dirección posterior
Sacro	Triángulo largo y estrecho, con una curvatura sacra pronunciada	Triángulo corto y ancho, de menor curvatura
Cóccix	Dirección anterior	Dirección inferior
OTROS ELEMENTOS ESQUELÉTICOS		
Peso óseo	Más pesado	Más ligero
Detalles óseos	Más destacados	Menos destacados

sobre el desarrollo muscular. Detalles como la situación dental o la presencia de fracturas consolidadas pueden aportar datos sobre los antecedentes médicos de una persona. También es posible determinar dos aspectos relevantes, el sexo y la edad, a partir de las mediciones recogidas en las tablas 7.1 y 7.2, o estimarlos de forma muy aproximada. La tabla 7.1 recoge unas variaciones características entre el esqueleto del hombre y el de la mujer, pero no todos los casos manifiestan todos los rasgos en sus pormenores más clásicos. Muchas diferencias, como las huellas presentes en el cráneo, la capacidad craneal y las

particularidades generales del esqueleto, reflejan diferencias en el tamaño medio corporal, la masa muscular y la fuerza de los músculos. Las modificaciones generales del sistema óseo correspondientes al envejecimiento se resumen en la tabla 7.2. Observe que ya comienzan a los 3 meses de edad y siguen a lo largo de toda la vida. Por ejemplo, la fusión de los cartílagos epifisarios empieza alrededor de los 3 años, mientras que los cambios degenerativos del sistema óseo normal, como la pérdida de contenido mineral en la matriz del hueso, no lo hacen hasta los 30-45 años.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del esqueleto de las extremidades, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

TABLA 7.2 Cambios del esqueleto relacionados con la edad

Región/estructura	Fenómeno(s)	Edad (años)
ESQUELETO EN GENERAL		
Matriz ósea	Reducción del contenido mineral	Comienzo a los 30-45; los valores difieren entre los hombres y las mujeres de 45 a 65 años; pasados los 65 años, el descenso es similar en ambos sexos
Detalles	Pérdida de tamaño y de rugosidad	Reducción gradual con la edad y con la disminución de la fuerza y la masa muscular
CRÁNEO		
Fontanelas	Cierre	Finalizado a los 2 años
Sutura frontal	Fusión	2-8
Hueso occipital	Fusión de los centros de osificación	1-6
Apófisis estiloides	Fusión con el hueso temporal	12-16
Hueso hioides	Osificación completa y fusión	25-30 o más tarde
Dientes	Caída de los «dientes de leche»; aparición de los dientes permanentes; erupción de los molares permanentes	Detallado en el capítulo 25 («Aparato digestivo»)
Mandíbula	Caída de los dientes; reducción de la masa ósea; cambio en el ángulo de la escotadura mandibular	Aceleración durante los últimos años (60)
VÉRTEBRAS		
Curvatura	Aparición de las curvas principales	3 meses-10 años *(v. figura 6.19, p. 160)*
Discos intervertebrales	Reducción de su tamaño y su contribución porcentual a la estatura	Aceleración durante los últimos años (60)
HUESOS LARGOS		
Cartílagos epifisarios	Fusión	Límites variables según el hueso específico en cuestión, pero su análisis general permite determinar la edad aproximada (3-7, 15-22, etc.)
CINTURAS ESCAPULAR Y PÉLVICA		
Cartílagos epifisarios	Fusión	Límites de coincidencia algo más estrechos que los anteriores, como 14-16, 16-18, 22-25 años

TÉRMINOS CLÍNICOS

esguince: Trastorno producido al estirar un ligamento hasta el punto de que se desgarren parte de las fibras colágenas. Mientras no se rasgue del todo, el ligamento sigue funcional y la estructura de la articulación no resulta afectada.

fractura del bailarín: Fractura del quinto metatarsiano, normalmente cerca de su articulación proximal.

pie equino varo congénito (pie zambo): Deformidad congénita que afecta a un pie o a ambos. Aparece de forma secundaria a alteraciones del desarrollo neuromuscular.

pies planos: Pérdida o ausencia de un arco longitudinal.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 175

1. El **esqueleto de las extremidades** abarca los huesos de los miembros superior e inferior y de las cinturas escapular y pélvica que sostienen los miembros y los conectan al tronco *(v. figura 7.1)*.

Cintura escapular y extremidad superior 176

1. Cada miembro superior se articula con el tronco a través de la **cintura escapular,** o *cintura del hombro,* que está compuesta por la **clavícula** y la **escápula** (omóplato) *(v. figuras 7.2 a 7.5)*.

Cintura escapular 176

2. La clavícula y la escápula ponen la articulación del hombro en posición, ayudan a mover la extremidad superior y ofrecen una base para la inserción de los músculos *(v. figuras 7.3/7.4)*.
3. La **clavícula** es un hueso en forma de «S» que se extiende entre el manubrio del esternón y el **acromion** de la escápula. Este hueso proporciona la única conexión directa entre la cintura escapular y el esqueleto de la cabeza y el tronco.
4. La **escápula** se articula con la cabeza redonda del húmero en la **cavidad glenoidea** escapular, la **articulación glenohumeral** *(articulación del hombro)*. Dos apófisis escapulares, la **coracoides** y el **acromion,** están unidas a ligamentos y tendones asociados a la articulación del hombro. El acromion se articula con la clavícula en

la **articulación acromioclavicular.** Esta prolongación se continúa con la **espina de la escápula,** que cruza la cara posterior del cuerpo escapular *(v. figura 7.5)*.

Extremidad superior 179

5. El **húmero** se articula con la cavidad glenoidea de la escápula. La cápsula articular del hombro se fija al húmero por su parte distal en el **cuello anatómico.** Dos salientes prominentes, la **tuberosidad mayor** y la **tuberosidad menor,** son zonas importantes de inserción muscular. Otros detalles destacados de su superficie son la **tuberosidad deltoidea,** lugar para la inserción del *músculo deltoides;* el **cóndilo** articular, dividido en dos regiones articulares, la **tróclea** (medial) y el **capítulo** (lateral*);* el **surco para el nervio radial,** que marca el trayecto del *nervio radial;* y los **epicóndilos medial** y **lateral** para la inserción de otros músculos *(v. figuras 7.2/7.6 a 7.8)*.
6. Por su parte distal, el húmero se articula con el cúbito (en la tróclea) y con el radio (en el capítulo). La tróclea se extiende desde la **fosa coronoidea** hasta la **fosa olecraniana** *(v. figura 7.6)*.
7. El **cúbito** y el **radio** son los huesos paralelos del antebrazo. La fosa olecraniana del húmero aloja el **olécranon** del cúbito al estirar (extender) la articulación del codo. La fosa coronoidea alberga la **apófisis coronoides** del cúbito al doblar (flexionar) la articulación del codo *(v. figuras 7.2/7.7)*.
8. Los **huesos del carpo** forman dos hileras en la muñeca, **proximal** y **distal.** Desde la zona lateral a la medial, la fila proximal consta del **escafoides, semilunar, piramidal** y **pisiforme.** También desde la parte lateral a la medial, la fila distal consta del **trapecio, trapezoide, grande** y **ganchoso** *(v. figura 7.8)*.
9. Los cinco **huesos metacarpianos** se articulan con los huesos distales del carpo. Por su parte distal, los metacarpianos se articulan con las falanges. Cuatro de los dedos contienen tres **falanges;** el **pulgar** sólo tiene dos *(v. figura 7.8)*.

Cintura pélvica y extremidad inferior 186

Cintura pélvica 186

1. La cintura pélvica está compuesta por los dos **huesos coxales,** también llamados *huesos ilíacos* o *huesos innominados;* cada hueso coxal surge por la fusión de tres huesos: el ilíaco, el isquion y el pubis *(v. figuras 7.9/7.10)*.
2. El **ilíaco** es el más grande de los componentes del hueso coxal. En el interior del **acetábulo** (la fosa que está en la cara lateral del hueso coxal para alojar la **cabeza** del fémur*),* el ilíaco se fusiona con el **isquion** (en la parte posterior) y con el **pubis** (en la anterior). La **sínfisis del pubis** limita el movimiento entre el pubis del hueso coxal izquierdo y el del derecho *(v. figuras 7.11/7.13)*.
3. La **pelvis** está constituida por los dos huesos coxales, el sacro y el cóccix. Puede subdividirse en la **pelvis mayor** *(falsa)* y la **pelvis menor** *(verdadera)*. La pelvis menor encierra la **cavidad pélvica** *(v. figuras 7.11 a 7.13)*.

Extremidad inferior 193

4. El **fémur** es el hueso más largo del cuerpo. En su **cabeza** redondeada, se articula con la pelvis por el acetábulo, y en su extremo distal los **cóndilos medial** y **lateral** se articulan con la tibia en la articulación de la rodilla. Los **trocánteres mayor** y **menor** son dos salientes próximos a la cabeza, que prestan su inserción en el fémur a unos tendones de gran tamaño *(v. figuras 7.9/7.12d/7.14)*.
5. La **rótula** es un gran hueso sesamoideo que se forma en el interior del tendón del grupo muscular *cuádriceps femoral.* El ligamento rotuliano se extiende desde la rótula hasta la **tuberosidad tibial** *(v. figuras 7.14f/7.15)*.
6. La **tibia** es el hueso medial y el más grande de la pierna. Los detalles sobresalientes de su superficie rugosa son la **tuberosidad tibial,** el **borde anterior,** la **cresta interósea** y el **maléolo medial.** El maléolo medial es una gran eminencia que proporciona un refuerzo medial a la **articulación astragalocrural** (del tobillo) *(v. figura 7.16)*.
7. El **peroné** es el hueso delgado de la pierna que queda lateral a la tibia. Su **cabeza** se articula con la tibia por debajo de la rodilla, en una zona inferior y un poco posterior al cóndilo lateral de la tibia. Una prolongación suya, el **maléolo lateral,** estabiliza la articulación del tobillo al impedir el movimiento medial de la tibia sobre el astrágalo *(v. figuras 7.16/7.17)*.
8. El **tarso,** o tobillo, comprende siete **huesos del tarso;** tan sólo la cara superior lisa de la tróclea astragalina se articula con la tibia y el peroné. También posee unas prolongaciones lateral y medial que se articulan con los maléolos lateral y medial del peroné y la tibia, respectivamente. En una posición normal de bipedestación, la mayor parte del peso corporal se transmite al calcáneo, y el resto pasa a los **huesos metatarsianos.**
9. El patrón básico de organización de los **huesos metatarsianos** y las **falanges** del pie es el mismo que el de los huesos metacarpianos y las falanges de la mano *(v. figuras 7.17/7.18)*.
10. La transmisión del peso tiene lugar a lo largo del **arco longitudinal** y el **arco transversal** del pie *(v. figuras 7.17/7.18)*.

Variabilidad individual en el sistema óseo 200

1. El estudio de un esqueleto humano puede revelar una información importante, como la raza, los antecedentes médicos, el sexo, el tamaño del cuerpo, la masa muscular y la edad *(v. tablas 7.1/7.2)*.
2. En el sistema óseo tienen lugar una serie de cambios y fenómenos relacionados con la edad. Estas transformaciones comienzan más o menos a los 3 años y siguen a lo largo de toda la vida *(v. tablas 7.1/7.2)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A

___ 1. hombro
___ 2. cadera
___ 3. escápula
___ 4. tróclea
___ 5. escotadura cubital
___ 6. hueso coxal
___ 7. trocánter mayor
___ 8. maléolo medial
___ 9. hueso del talón
___10. dedos del pie

Columna B

a. tibia
b. cintura escapular
c. radio
d. falanges
e. cintura pélvica
f. fémur
g. fosa infraespinosa
h. calcáneo
i. ilíaco
j. húmero

11. Entre las características estructurales de la cintura escapular que la adaptan a una gran amplitud de movimientos figuran:
    (a) sus huesos pesados
    (b) unas articulaciones relativamente débiles
    (c) una escasa amplitud de movimientos en la articulación del hombro
    (d) unas articulaciones estabilizadas a la jaula torácica mediante ligamentos y tendones

12. La porción ancha de la clavícula relativamente plana que se articula con la escápula es:
    (a) el extremo esternal
    (b) el tubérculo conoideo
    (c) el extremo acromial
    (d) la tuberosidad costal

13. ¿Qué hueso se articula con el hueso coxal en el acetábulo?
    (a) sacro (b) húmero
    (c) fémur (d) tibia

14. La protuberancia que puede palparse en la cara lateral del tobillo es:
    (a) el maléolo lateral (b) el cóndilo lateral
    (c) la tuberosidad tibial (d) el epicóndilo lateral

15. Entre las características estructurales de la cintura pélvica que la adaptan para cumplir su misión de soportar el peso del cuerpo figuran:
    (a) sus huesos pesados
    (b) unas articulaciones estables
    (c) una amplitud limitada de movimientos
    (d) todas las anteriores en ciertas articulaciones

16. ¿Cuál de las siguientes características pertenece a una pelvis masculina?
    (a) agujero obturado triangular
    (b) cóccix dirigido hacia el estrecho inferior
    (c) sacro ancho y corto
    (d) espina ciática de dirección posterior

17. ¿Cuál de los siguientes huesos no forma parte del carpo?
    (a) escafoides (b) ganchoso
    (c) cuboides (d) piramidal

18. ¿Qué parte del radio ayuda a estabilizar la articulación de la muñeca?
    (a) olécranon (b) apófisis coronoides
    (c) apófisis estiloides (d) tuberosidad del radio

19. El olécranon está en el:
    (a) húmero (b) radio
    (c) cúbito (d) fémur

20. El pequeño saliente anterior de la escápula que se extiende sobre el borde superior de la cavidad glenoidea es:
    (a) la espina de la escápula (b) el acromion
    (c) la apófisis coracoides (d) la apófisis supraespinosa

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Cuál de los siguientes fenómenos señala el origen de las diferencias observables entre la pelvis masculina y la femenina?
    (a) unos huesos más ligeros y de superficie más lisa en la pelvis femenina
    (b) una curvatura menor del sacro y el cóccix en la mujer
    (c) un estrecho inferior de la pelvis más circular
    (d) todas las anteriores

2. ¿Cuál de las siguientes características permite identificar a un individuo mediante el examen de su esqueleto?
    (a) la concordancia con los registros dentales previos a su fallecimiento
    (b) la densidad relativa de los huesos
    (c) la resistencia de las inserciones ligamentosas en los huesos
    (d) la longitud relativa de los elementos de las manos y los pies

3. Entre las características que identifican de forma específica a un elemento esquelético como perteneciente a un varón figura la siguiente:
    (a) unas crestas orbitarias fuertes en los huesos frontales
    (b) una frente más vertical
    (c) una fosa ilíaca relativamente poco profunda
    (d) una cavidad craneal más pequeña

4. Para determinar la edad de un esqueleto, ¿qué información resultaría práctica?

5. ¿Qué importancia tiene mantener un grado correcto de curvatura en el arco longitudinal del pie?

6. ¿Por qué son tan frecuentes las fracturas de la clavícula?

7. ¿Por qué la tibia participa en la transmisión del peso hacia el tobillo y el pie, pero no el peroné?

8. ¿Cuál es la función del olécranon del cúbito?

9. ¿Cómo llega el peso corporal hasta los huesos metatarsianos?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿Por qué una persona con osteoporosis tiene mayor riesgo de sufrir una fractura de cadera que de hombro?

2. Los arqueólogos descubren la pelvis de un humano primitivo y son capaces de decir el sexo, la edad relativa y algunas características físicas del individuo. ¿Cómo es posible hacerlo sólo con la pelvis?

3. ¿Cómo decidirá un investigador médico forense si los restos de un esqueleto descubierto en el bosque son de un hombre o de una mujer?

4. La afección que presenta unos arcos longitudinales inferiores a lo normal se denomina «pies planos». ¿Cuál es el problema estructural que los ocasiona?

8

Sistema óseo

Articulaciones

Introducción 206

Clasificación de las articulaciones 206

Forma y función de las articulaciones 208

Articulaciones más representativas 213

Envejecimiento y articulaciones 229

Huesos y músculos 231

booksmedicos.org

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Distinguir entre los diferentes tipos de articulaciones, poner en relación el diseño anatómico con sus funciones y señalar las estructuras articulares auxiliares.
2. Describir los movimientos dinámicos del esqueleto.
3. Explicar los seis tipos de articulaciones sinoviales según sus movimientos.
4. Exponer la estructura y el funcionamiento de las articulaciones entre: 1) la mandíbula y el hueso temporal; 2) cada dos vértebras contiguas a lo largo de la columna vertebral, y 3) la clavícula y el esternón.
5. Exponer la estructura y el funcionamiento de las articulaciones de la extremidad superior: el hombro, el codo, la muñeca y la mano.
6. Exponer la estructura y el funcionamiento de las articulaciones de la extremidad inferior: la cadera, la rodilla, el tobillo y el pie.

Aunque dependemos de nuestros huesos para mantenernos, una situación sin movilidad no nos dejaría mucho mejor que a una estatua. Los movimientos corporales han de ajustarse a los límites impuestos por el esqueleto. Por ejemplo, no es posible doblar el húmero o el fémur por su diáfisis; los movimientos se encuentran restringidos a las articulaciones. Las **articulaciones** *(arthros),* o junturas, existen en cualquier punto donde se reúnan dos huesos o más, los cuales pueden estar en contacto directo o separados por tejido fibroso, por cartílago o por un líquido. Cada articulación tolera una amplitud de movimientos específica, y actúan toda una serie de superficies óseas, cartílagos, ligamentos, tendones y músculos en coordinación para conservarlos dentro de sus márgenes normales. En este capítulo nos centraremos en el modo como los huesos se encuentran enlazados entre sí para brindarnos una libertad de movimientos. El funcionamiento y la amplitud que alcanzan en cada caso dependen de su diseño anatómico. Algunas articulaciones están muy ensambladas y prohíben cualquier movimiento por completo, mientras que otras permiten unos desplazamientos ligeros o amplios. Las articulaciones inmóviles y poco móviles son más frecuentes en el esqueleto de la cabeza y el tronco, y las de libre movimiento lo son en el esqueleto de las extremidades.

Clasificación de las articulaciones [v. tablas 8.1/8.2]

Las tres categorías funcionales de las articulaciones están basadas en la amplitud posible de sus movimientos (v. tabla 8.1). Una articulación inmóvil es una **sinartrosis** (*syn,* juntos + *arthros,* articulación); las de poco movimiento son una **anfiartrosis** (*amphi,* a ambos lados); y las de libre movimiento son una **diartrosis** (*dia,* a través de). Las subdivisiones de cada categoría funcional indican unas diferencias estructurales considerables. Las articulaciones sinartrósicas o anfiartrósicas se catalogan como fibrosas o cartilaginosas, y las diartrósicas lo hacen según el grado de movimientos que permiten. Un criterio de clasificación alternativo está basado únicamente en la estructura articular (fusión ósea, fibrosa, cartilaginosa o sinovial). Este es el esquema que se presenta en la tabla 8.2. Aquí emplearemos la clasificación funcional, pues nuestros objetivos gravitan sobre el grado de movimientos permitidos, en vez de sobre la estructura histológica de la articulación.

Sinartrosis (articulaciones fijas)

En una sinartrosis, los bordes óseos se encuentran bastante próximos entre sí y hasta pueden estar entrelazados. Una **sutura** (*sutura,* costura de unión) es un tipo de articulación sinartrósica presente sólo entre los huesos del cráneo. Sus bordes óseos se encuentran engranados y unidos por tejido conjuntivo a nivel de la sutura. Este tejido se denomina *ligamento sutural* o *membrana sutural.* La membrana sutural corresponde a los restos sin osificar de la membrana mesenquimatosa embrionaria que acogió el desarrollo de los huesos. Las sinartrosis están pensadas para permitir que las fuerzas se dispersen con facilidad de un hueso a otro produciendo un movimiento articular mínimo, lo que atenúa el riesgo de lesión. Una **gonfosis** (*gomphosis,* atornillamiento) es una forma especializada de sinartrosis fibrosa que une cada diente al alvéolo óseo a su alrededor. Esta conexión fibrosa es el **ligamento periodontal** (*peri,* alrededor + *odontos,* diente).

En un hueso en crecimiento, la diáfisis se mantiene unida a cada una de las epífisis por un cartílago epifisario, lo que es un ejemplo de sinartrosis cartilaginosa. Esta conexión rígida se denomina **sincondrosis** (*syn,* juntos + *chondros,* cartílago). A veces, incluso se fusionan dos huesos distintos y desaparece el límite entre ellos. Esto crea una **sinóstosis,** una articulación inmóvil totalmente rígida.

Anfiartrosis (articulaciones con escaso movimiento)

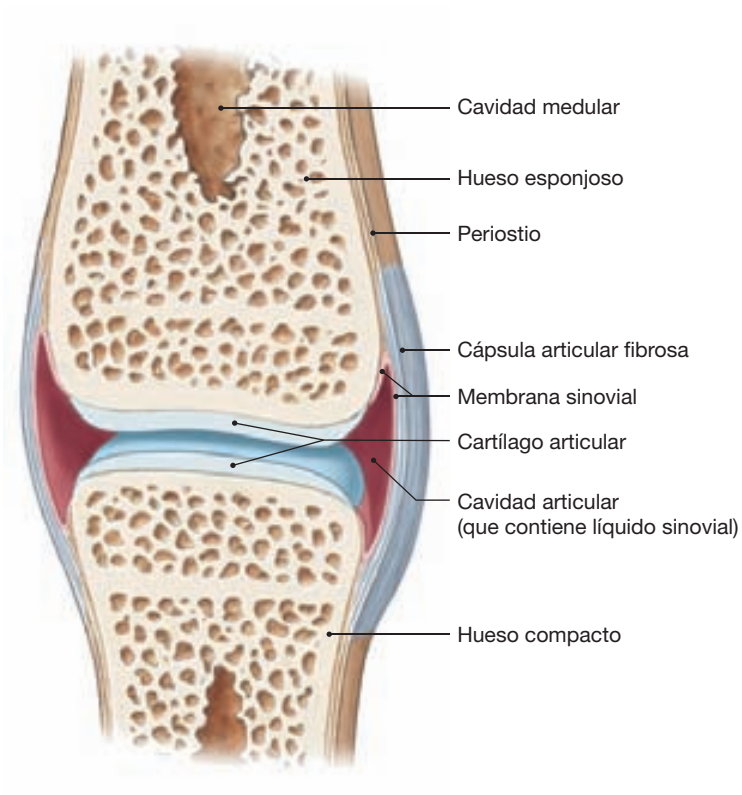
Las anfiartrosis permiten un movimiento muy escaso y los huesos suelen encontrarse más alejados entre sí que en una sinartrosis. La conexión entre ellos puede efectuarse por fibras colágenas o por cartílago. En una **sindesmosis** (*desmo,* banda o ligamento), los huesos articulados están vinculados por un ligamento que limita su movimiento. Como ejemplos, pueden citarse la articulación distal entre la tibia y el peroné y la membrana interósea entre el radio y el cúbito. En una **sínfisis,** los huesos están separados por una cuña o una almohadilla de cartílago fibroso. Las articulaciones entre los cuerpos vertebrales contiguos (a través del *disco intervertebral*) y la conexión anterior entre los dos huesos del pubis (la *sínfisis del pubis*) son casos de este tipo de articulación.

Diartrosis (articulaciones de movimiento libre) [v. figura 8.1]

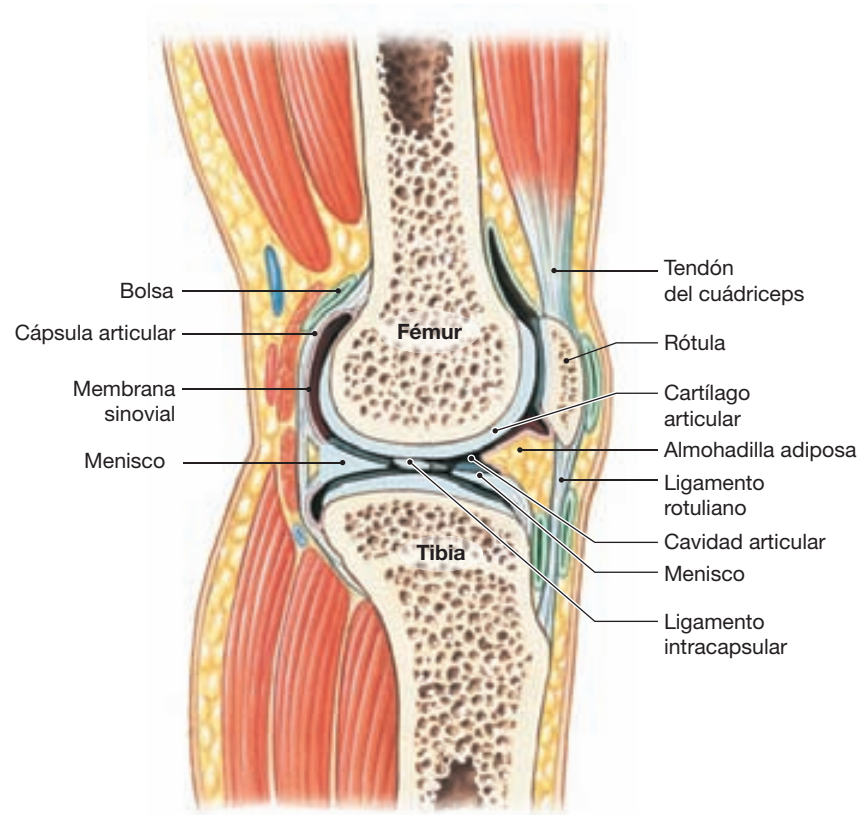
Las diartrosis, o **articulaciones sinoviales,** están especializadas en el movimiento y, por ello, permiten su realización con una gran amplitud. En condiciones normales, las superficies óseas de una diartrosis no entran en contacto entre sí,

TABLA 8.1 Clasificación funcional de las articulaciones

Categoría funcional	Categoría estructural	Descripción	Ejemplo
SINARTROSIS (sin movimiento)	**Fibrosa**		
	Sutura	Conexiones fibrosas más amplio entrelazamiento	Entre los huesos del cráneo
	Gonfosis	Conexiones fibrosas más introducción en la apófisis alveolar	Ligamentos periodontales entre los dientes y los maxilares
	Cartilaginosa		
	Sincondrosis	Interposición de una lámina cartilaginosa	Cartílagos epifisarios
	Fusión ósea		
	Sinostosis	Transformación de otras formas articulares en una masa sólida de hueso	Porciones del cráneo, como a lo largo de la sutura frontal; líneas epifisarias
ANFIARTROSIS (escaso movimiento)	**Fibrosa**		
	Sindesmosis	Conexión ligamentosa	Entre la tibia y el peroné
	Cartilaginosa		
	Sínfisis	Conexión por una almohadilla de cartílago fibroso	Entre los huesos ilíacos derecho e izquierdo de la pelvis; entre los cuerpos vertebrales contiguos
DIARTROSIS (movimiento libre)	**Sinovial**	Articulación compleja delimitada por una cápsula articular y que contiene líquido sinovial	Numerosos; subdividida según su amplitud de movimientos *(v. figuras 8.3 a 8.6)*
	Monoaxial	Permite el movimiento en un plano	Codo, tobillo
	Biaxial	Permite el movimiento en dos planos	Costillas, muñeca
	Triaxial	Permite el movimiento en los tres planos	Hombro, cadera



(a) Articulación sinovial, sección sagital



(b) Articulación de la rodilla, sección sagital

Figura 8.1 Estructura de una diartrosis
Las diartrosis son articulaciones sinoviales que permiten una gran amplitud de movimientos. **(a)** Vista esquemática de una articulación sencilla. **(b)** Vista simplificada de una sección que pasa por la articulación de la rodilla.

debido a que se encuentran recubiertas por los **cartílagos articulares.** Estos cartílagos actúan como unos amortiguadores y también sirven para reducir el rozamiento. Los cartílagos articulares se parecen a los cartílagos hialinos en muchos aspectos. Sin embargo, carecen de pericondrio y su matriz contiene más líquido que en un cartílago hialino típico. Las articulaciones de este tipo suelen darse entre los extremos de los huesos largos, como sucede en las extremidades superiores e inferiores.

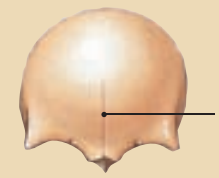
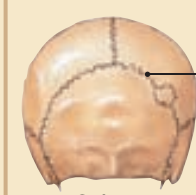
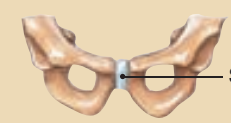
La figura 8.1 recoge la estructura de una diartrosis típica. Todas ellas presentan las mismas características básicas: 1) una *cápsula articular;* 2) *cartílagos articulares;* 3) una *cavidad articular* llena de *líquido sinovial;* 4) una *membrana sinovial* que reviste la cápsula articular; 5) unas *estructuras auxiliares,* y 6) *nervios sensitivos* y *vasos sanguíneos* que se ocupan del exterior y el interior de la articulación.

Líquido sinovial

Las diartrosis están rodeadas por una **cápsula articular,** compuesta de una capa gruesa de tejido conjuntivo denso. Una *membrana sinovial* tapiza la cavidad articular, pero se detiene al llegar a los bordes del cartílago articular [p. 74]. Las membranas sinoviales producen el **líquido sinovial,** que llena la cavidad articular. Este líquido cumple tres funciones:

1. *Lubricación,* la fina película de líquido sinovial que cubre la superficie interna de la cápsula articular y las zonas al descubierto de los cartílagos articulares lubrica y reduce el rozamiento. Esto lo lleva a cabo mediante el *hialuronano* y la *lubricina* incluidos en

TABLA 8.2 Clasificación estructural de las articulaciones

Estructura	Tipo	Categoría funcional	Ejemplo*
FUSIÓN ÓSEA	Sinostosis	Sinartrosis	 Sutura frontal (fusión) Hueso frontal
ARTICULACIÓN FIBROSA	Sutura Gonfosis Sindesmosis	Sinartrosis Sinartrosis Anfiartrosis	 Sutura lambdoidea Cráneo
ARTICULACIÓN CARTILAGINOSA	Sincondrosis Sínfisis	Sinartrosis Anfiartrosis	 Sínfisis Sínfisis del pubis
ARTICULACIÓN SINOVIAL	Monoaxial Biaxial Triaxial	Diartrosis	Articulación sinovial

*Para consultar otros ejemplos, véase la tabla 8.1.

su composición, que rebajan la fricción entre las superficies cartilaginosas de una articulación más o menos hasta la quinta parte de la que se produce entre dos trozos de hielo.

2. *Nutrición de los condrocitos:* la cantidad total de líquido sinovial que contiene una articulación normalmente no llega a 3 mL, incluso en las más grandes, como la rodilla. Este volumen relativamente pequeño debe circular para suministrar nutrientes y aportar una vía de evacuación a los desechos producidos por los condrocitos pertenecientes al cartílago articular. La circulación del líquido sinovial se ve impulsada por el movimiento de la articulación, que también genera unos ciclos de compresión y dilatación entre los cartílagos articulares enfrentados. Con la compresión, el líquido sinovial se ve alejado de los cartílagos articulares; tras una nueva dilatación, vuelve a arrastrársele hacia ellos. Este flujo de vaivén sirve para alimentar a los condrocitos que los componen.
3. *Amortiguación:* el líquido sinovial amortigua los impactos recibidos por las articulaciones sometidas a un proceso de compresión. Por ejemplo, las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo quedan comprimidas al caminar, hasta llegar a un nivel muy intenso cuando se hace ejercicio o se corre. Si la presión asciende bruscamente, el líquido sinovial amortigua el golpe y lo distribuye de manera uniforme por todas las superficies articulares.

Estructuras auxiliares [v. figura 8.1]

Las diartrosis pueden presentar toda una variedad de estructuras auxiliares, como almohadillas cartilaginosas o adiposas, ligamentos, tendones y bolsas (**v. figura 8.1**).

Cartílagos y almohadillas adiposas [v. figura 8.1b] En las articulaciones complejas, como la rodilla (**v. figura 8.1b**), las estructuras auxiliares pueden ocupar algún lugar entre las superficies articulares opuestas y modificar su forma. Se distinguen los tipos siguientes:

- Los *meniscos* (*meniscus,* media luna), o **discos articulares,** son unas almohadillas de cartílago fibroso que pueden dividir una cavidad sinovial, canalizar el flujo del líquido sinovial, permitir variaciones en la forma de las superficies articulares o restringir los movimientos de la articulación.
- Las *almohadillas adiposas* suelen encontrarse alrededor de la periferia de una articulación, parcialmente revestidas por una capa de membrana sinovial. Sirven para proteger los cartílagos articulares y actúan como lo haría el material de embalaje para la articulación en su conjunto. Rellenan los espacios creados al moverse los huesos y cambiar de forma la cavidad articular.

Ligamentos [v. figura 8.1b] La cápsula articular que rodea toda la articulación se continúa con el periostio de los huesos implicados. Los **ligamentos auxiliares** sustentan, fortalecen y refuerzan las diartrosis. Los **ligamentos intrínsecos,** o **ligamentos capsulares,** son engrosamientos localizados de la cápsula articular. En cambio, los **ligamentos extrínsecos** están separados de ella. Estos ligamentos pueden hallarse fuera o dentro de la cápsula articular, y se les denomina *ligamentos extracapsulares* o *intracapsulares,* respectivamente (**v. figura 8.1b**).

Tendones [v. figura 8.1b] Aunque específicamente no formen parte de la propia articulación, los tendones (**v. figura 8.1b**) suelen atravesarla o rodearla. El tono muscular normal los mantiene tensos y su presencia puede limitar la amplitud de los movimientos. En algunas articulaciones, constituyen un elemento integrante más de la cápsula articular, a la que aportan una resistencia considerable.

Bolsas [v. figura 8.1b] Existen unos pequeños sacos de tejido conjuntivo llenos de líquido, que se denominan **bolsas** (**v. figura 8.1b**). Su interior está lleno de líquido sinovial y revestido por una membrana sinovial. Las bolsas pueden encontrarse conectadas a la cavidad articular, o estar separadas del todo. Aparecen en zonas de roce entre un tendón o un ligamento y otros tejidos. Su función consiste en reducir esta fricción y actuar como un amortiguador. Hay bolsas alrededor de la mayor parte de las diartrosis, como la articulación del hombro. Las **vainas tendinosas** **sinoviales** son unas bolsas tubulares que rodean a los tendones cuando pasan sobre una superficie ósea. También pueden formarse bajo la piel que cubre a un hueso o en el interior de otros tejidos conjuntivos expuestos al roce o a la presión. Las bolsas que aparecen en lugares anormales, o debido a un esfuerzo inhabitual, se denominan *bolsas adventicias.*

Nota clínica

Luxación de una diartrosis Cuando ocurre una **luxación,** o **dislocación,** las superficies articuladas quedan desalojadas de su posición. Este desplazamiento puede dañar a los cartílagos articulares, romper los ligamentos o deformar la cápsula articular. Aunque el *interior* de una articulación carece de receptores para el dolor, los nervios que controlan la cápsula, los ligamentos y los tendones sí son bastante sensibles, y las luxaciones resultan muy dolorosas. La alteración que acompaña a una luxación parcial, o **subluxación,** es menos grave. La estabilidad de las articulaciones en aquellas personas a las que se les comunica una «hiperlaxitud ligamentosa» es bastante frágil. Aunque esta propiedad les conceda una amplitud de movimientos mayor que a los demás, también tienen mayores probabilidades de sufrir una luxación parcial o total.

Resistencia frente a movilidad

Ninguna articulación puede ser a la vez muy móvil y muy resistente. Cuanto mayor sea la amplitud de sus movimientos, más débil se vuelve. Una sinartrosis, el tipo más fuerte de articulación, no permite ningún movimiento, mientras que cualquier diartrosis móvil puede sufrir una alteración si el movimiento realizado excede su amplitud normal. Varios factores se suman para limitar la movilidad y reducir el riesgo de lesión:

- Presencia de ligamentos auxiliares y las fibras colágenas de la cápsula articular.
- Forma de las superficies articuladas, que impida el movimiento en alguna dirección específica.
- Existencia de otros huesos, apófisis óseas, músculos estriados o almohadillas adiposas alrededor de la articulación.
- Tensión adquirida por los tendones que se insertan en los huesos articulados. Cuando un músculo estriado se contrae y tira de un tendón, puede favorecer u oponerse al movimiento en una dirección específica.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Diferencie una sinartrosis y una anfiartrosis.
2. ¿Cuál es la principal ventaja que aporta una diartrosis?
3. Identifique dos funciones del líquido sinovial.
4. ¿Qué son las bolsas? ¿Cuál es su función?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Forma y función de las articulaciones

Si se quiere *entender* el movimiento humano, hay que darse cuenta de la relación que guarda la estructura de cada articulación con su función. Si se quiere *describir* el movimiento humano, hace falta un marco de referencia que posibilite la comunicación exacta y precisa. Las diartrosis pueden dividirse según sus propiedades anatómicas y funcionales. Para mostrar los fundamentos que justifican dicha clasificación, describiremos los movimientos que pueden producirse en una diartrosis típica, por medio de un modelo simplificado.

Descripción de la movilidad dinámica

[v. figura 8.2]

Coja un lapiz (o un bolígrafo) igual que el modelo y póngalo vertical sobre la superficie de un escritorio o de una mesa, como en la figura 8.2a. El lápiz representa un hueso y la mesa es una superficie articular. Con unas pequeñas dosis de imaginación y grandes dosis de maniobras de torsión, presión y tracción, se observará que no hay más que tres posibilidades de mover el modelo. Su examen por separado permitirá disponer de un marco de referencia para analizar cualquier movimiento complejo.

Movimiento posible 1: desplazamiento de la punta. Si sujeta el lápiz vertical sin fijar la punta, puede rodarlo sobre la superficie. Una acción de este tipo se denomina *deslizamiento* (v. figura 8.2b) y es un ejemplo de **movimiento lineal.** La punta resbalará hacia adelante o hacia atrás, de un lado a otro, o en sentido diagonal. Por mucho que quiera mover el lápiz, el resultado siempre puede describirse mediante dos líneas de referencia. Una representa el desplazamiento hacia adelante/atrás, y la otra el desplazamiento hacia la izquierda/derecha. Por ejemplo, un cambio sencillo de ubicación a lo largo de un eje podría describirse como «1 cm hacia adelante» o «2 cm hacia la izquierda». El movimiento diagonal podría expresarse usando los dos ejes, como sucede al decir «1 cm hacia atrás y 2,5 cm hacia la derecha».

Movimiento posible 2: cambio del ángulo que forma la barra. Si la punta se mantiene sujeta en su posición, todavía es posible mover su extremo libre (la parte de la goma) hacia adelante y hacia atrás, o de un lado a otro. Estos desplazamientos, que modifican el ángulo formado entre la diáfisis y la superficie articular, son ejemplos de **movimiento angular** (v. figura 8.2c). Cualquiera de ellos puede expresarse con referencia a esos dos mismos ejes (adelante/atrás, izquierda/derecha) y al cambio de ángulo (en grados). Sin embargo, hay un caso en el que se emplea un término especial para señalar un movimiento angular complejo. Coja el lápiz por su extremo libre y muévalo hasta que la barra deje de estar vertical. Ahora, sosteniendo con firmeza la punta que tiene apoyada, gire el extremo libre hasta completar un círculo (v. figura 8.2d). Este movimiento es muy difícil de describir. Los anatomistas evitan totalmente el problema al utilizar un vocablo especial para este tipo de movimiento angular: **circunducción** (*circum,* alrededor).

Movimiento posible 3: rotación de la barra. Si impide el desplazamiento de la base y mantiene la barra vertical, todavía se la puede girar en torno a su eje longitudinal. Este movimiento se denomina **rotación** (v. figura 8.2e). Varias articulaciones permitirán una rotación parcial, pero ninguna puede llevarla a cabo de forma ilimitada, ya que esto generaría una auténtica maraña con los vasos sanguíneos, los nervios y los músculos que atraviesan la articulación.

Una articulación que permita movimientos a lo largo de un solo eje se denomina **monoaxial** o *uniaxial.* En el modelo anterior, si una articulación no permite más que el movimiento angular sobre el plano que se extiende hacia adelante/atrás o impide cualquier otra posibilidad aparte de la rotación alrededor de su eje longitudinal, es monoaxial. Si el movimiento puede realizarse alrededor de dos ejes, la articulación es **biaxial.** Por ejemplo, cuando el lápiz pueda seguir un movimiento angular sobre el plano hacia adelante/atrás o hacia la izquierda/derecha, pero sin ninguna combinación de ambos, sería biaxial. Las articulaciones **triaxiales** ofrecen una combinación entre movimientos rotatorios y angulares.

Tipos de movimientos

Mientras no se indique lo contrario, todos los movimientos se expresan con referencia a una figura en posición anatómica. Al explicar lo que sucede en las diartrosis, los anatomistas utilizan términos descriptivos con significados específicos. Examinaremos estos movimientos con respecto a las categorías básicas estudiadas en el apartado anterior.

Movimiento lineal (deslizamiento) [v. figura 8.2b]

En el **deslizamiento,** dos superficies opuestas resbalan una sobre la otra (v. figura 8.2b). Esta posibilidad es la que se da entre las superficies de los huesos articulados del carpo y del tarso, así como entre las clavículas y el esternón. El desplazamiento puede seguir casi cualquier dirección, pero su magnitud es escasa y la cápsula y los ligamentos auxiliares suelen impedir la rotación.

Movimiento angular [v. figura 8.3]

Los ejemplos de movimiento angular que suceden en el cuerpo son la *abducción,* la *aducción,* la *flexión* y la *extensión.* La descripción de cada uno de ellos se realiza en referencia a un individuo en posición anatómica (v. figura 8.3).

- La **abducción** (*ab,* desde) es un movimiento en el plano frontal que produce un *alejamiento desde el eje longitudinal del cuerpo*. Por ejemplo, el

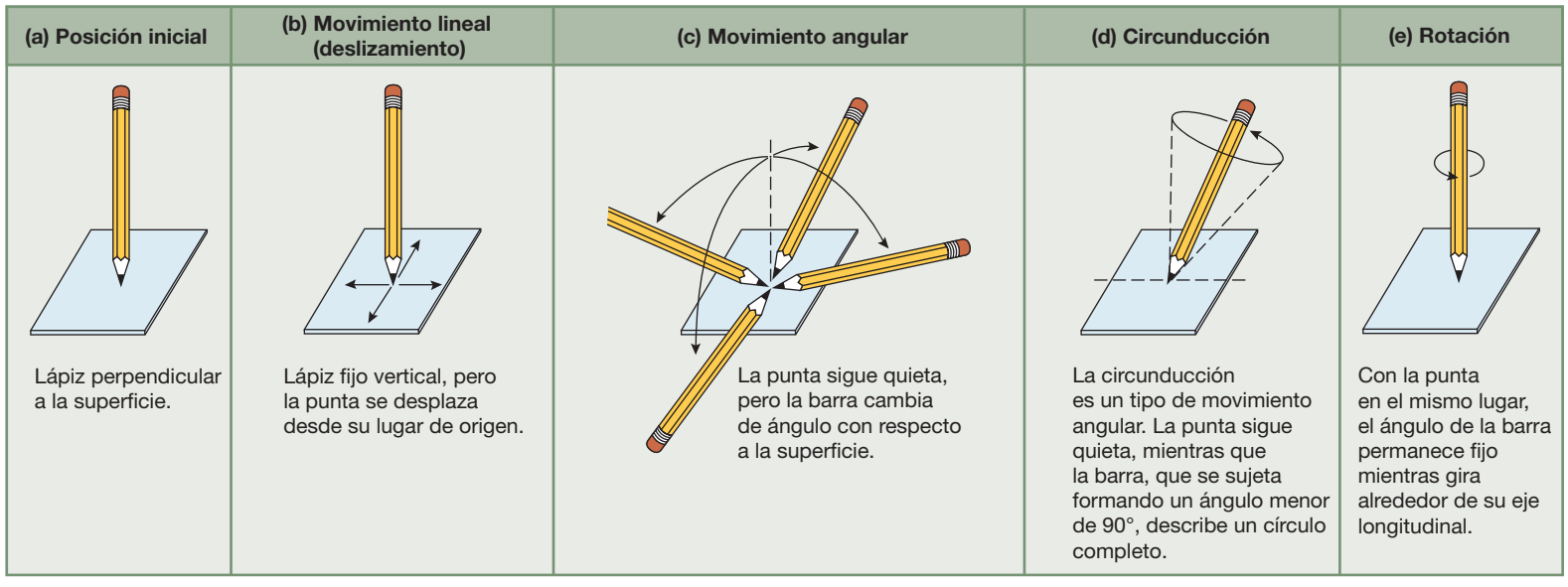
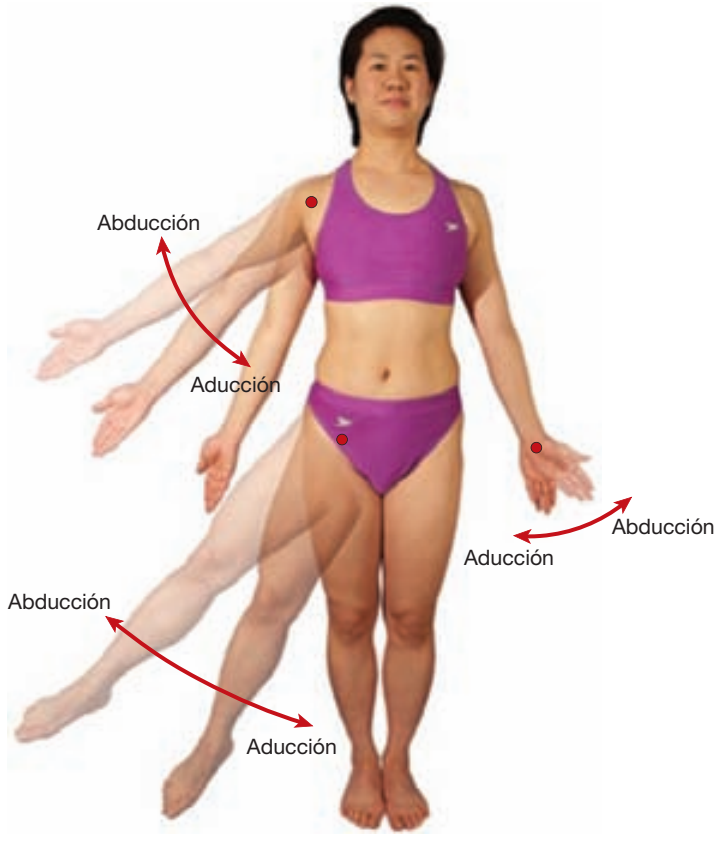
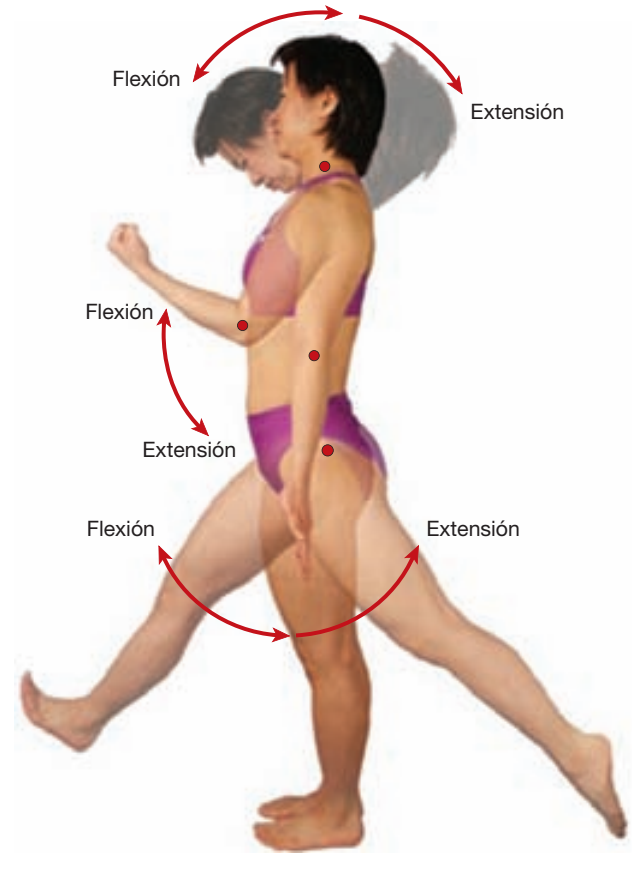
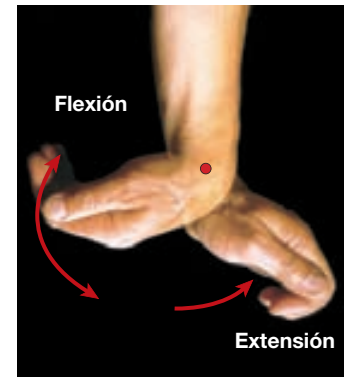

(a) Posición inicial
(b) Movimiento lineal (deslizamiento)
(c) Movimiento angular
(d) Circunducción
(e) Rotación
Lápiz perpendicular a la superficie.
Lápiz fijo vertical, pero la punta se desplaza desde su lugar de origen.
La punta sigue quieta, pero la barra cambia de ángulo con respecto a la superficie.
La circunducción es un tipo de movimiento angular. La punta sigue quieta, mientras que la barra, que se sujeta formando un ángulo menor de 90°, describe un círculo completo.
Con la punta en el mismo lugar, el ángulo de la barra permanece fijo mientras gira alrededor de su eje longitudinal.

Figura 8.2 Modelo sencillo de movimiento articular
Se describen tres tipos de movimiento dinámico: **(a)** posición inicial del modelo; **(b)** movimiento posible 1, correspondiente al deslizamiento, ejemplo de movimiento lineal; **(c)** movimiento posible 2, correspondiente al movimiento angular; **(d)** movimiento posible 2, correspondiente a un tipo especial de movimiento angular llamado circunducción, y **(e)** movimiento posible 3, correspondiente a la rotación.

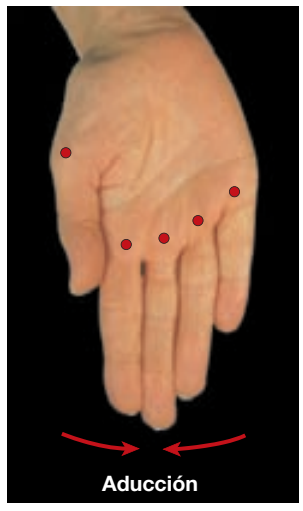


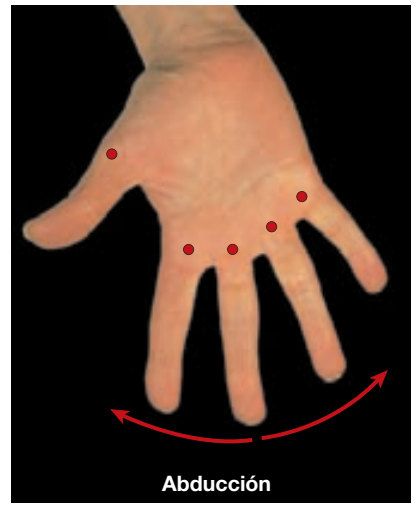


(a)



(b)





(c)

(d)

Figura 8.3 Movimientos angulares
Ejemplos de movimientos que modifican el ángulo entre la diáfisis y la superficie articular. Los puntos rojos indican el lugar de las articulaciones que participan en el movimiento representado. **(a)** abducción/aducción, **(b)** flexión/extensión, **(c)** aducción/abducción, y **(d)** circunducción.

giro de la extremidad superior para separarla del costado es la abducción del miembro; en cambio, la vuelta a la posición original representa la **aducción** (*ad,* hacia). La abducción de la muñeca aleja la base de la mano del cuerpo, mientras que la aducción lo acerca. Al abrir los dedos, se produce su abducción, porque se *separan* del dedo central (de la mano o del pie). Al juntarlos de nuevo, tiene lugar la aducción. La abducción y la aducción siempre designan movimientos realizados con el esqueleto de las extremidades (**v. figura 8.3a,c**).

- La **flexión** puede definirse como el movimiento efectuado en el plano anteroposterior que *reduce el ángulo entre los elementos articulados.* La **extensión** sucede en el mismo plano, pero *aumenta el ángulo entre los elementos articulados* (**v. figura 8.3b**). Al aproximar la cabeza al tórax, se flexionan las articulaciones intervertebrales del cuello. Al doblar el tronco para tocarse los dedos del pie, se flexionan las articulaciones intervertebrales de toda la columna vertebral. La extensión es un movimiento en el mismo plano que la flexión, pero que sigue un sentido opuesto. Por tanto, permite devolver la extremidad a la posición anatómica o rebasarla. La **hiperextensión** es un término aplicado a cualquier movimiento que extienda un miembro más allá de sus límites normales, con la consiguiente aparición de una lesión articular. Los ligamentos, eminencias óseas o tejidos blandos situados alrededor suelen evitar su aparición. La flexión del hombro o de la cadera balancea las extremidades en un sentido anterior, mientras que su extensión las desplaza en sentido posterior. La flexión de la muñeca lleva la palma hacia adelante y la extensión hacia atrás.
- En nuestro modelo, también se recogió un tipo especial de movimiento angular, la *circunducción* (**v. figura 8.3d**). Un ejemplo conocido en este sentido es el desplazamiento del brazo para dar un giro, como sucede al trazar una gran circunferencia en una pizarra.

Rotación [v. figura 8.4]

El giro de la cabeza puede consistir en una **rotación izquierda** o una **rotación derecha,** como sucede al negar con la cabeza. Al analizar los movimientos de las extremidades, si la cara anterior del miembro rota *hacia dentro,* y queda dirigida hacia la superficie ventral del cuerpo, es una **rotación interna** o **rotación medial.** Si gira *hacia fuera,* es una **rotación externa** o **rotación lateral.** Estos movimientos rotatorios están representados en la **figura 8.4**.

Las articulaciones entre el radio y el cúbito permiten la rotación del extremo distal del radio partiendo de la posición anatómica para que cruce la cara anterior del cúbito. Esto cambia la orientación de la muñeca y de la mano, hasta que la palma mira hacia atrás en vez de hacia adelante. El movimiento se denomina **pronación;** el desplazamiento opuesto, que gira la palma hacia adelante, es la **supinación.**

Movimientos especiales [v. figura 8.5]

Varios términos especiales se aplican a alguna articulación específica o a un tipo de movimiento infrecuente (**v. figura 8.5**).

- La **eversión** (*e,* fuera + *vertere,* girar) es un movimiento de torsión del pie, que gira la planta hacia fuera (**v. figura 8.5a**). El caso opuesto, que la orienta hacia dentro, se denomina **inversión** (*in,* dentro).
- La **flexión dorsal** y la flexión plantar también nombran movimientos del pie (**v. figura 8.5b**). La flexión dorsal, o *flexión del tobillo,* eleva la porción distal del pie y los dedos, tal como sucede al «clavar los talones». La flexión plantar, o *extensión del tobillo,* levanta el talón y la porción proximal del pie, como sucede al ponerse de puntillas.
- La **flexión lateral** se produce cuando la columna vertebral se dobla hacia un lado. Este movimiento es más pronunciado en las regiones cervical y torácica (**v. figura 8.5c**). Su realización hacia la izquierda se contrarresta cuando se hace hacia la derecha.
- La **protracción** supone el desplazamiento de una parte del cuerpo en un sentido anterior siguiendo el plano horizontal. La **retracción** es el movimiento inverso (**v. figura 8.5d**). La protracción se lleva a cabo en la mandíbula al morder el labio superior con los dientes inferiores y en las clavículas, al cruzarse de brazos.

Figura 8.4 Movimientos de rotación
Ejemplos de movimientos en los que rota la diáfisis del hueso.

- La **oposición** es un desplazamiento especial del pulgar que lo pone en contacto yema a yema con la palma de la mano o con cualquier otro dedo. La flexión del quinto metacarpiano puede contribuir a la realización de este movimiento. La acción contraria a la oposición se denomina *reposición* (**v. figura 8.5e**).
- La **elevación** y la **depresión** tienen lugar cuando una estructura se desplaza en sentido superior o inferior. La mandíbula se deprime al abrir la boca y se eleva al cerrarla (**v. figura 8.5f**). Otra elevación frecuente es la que hace falta para encogerse de hombros.

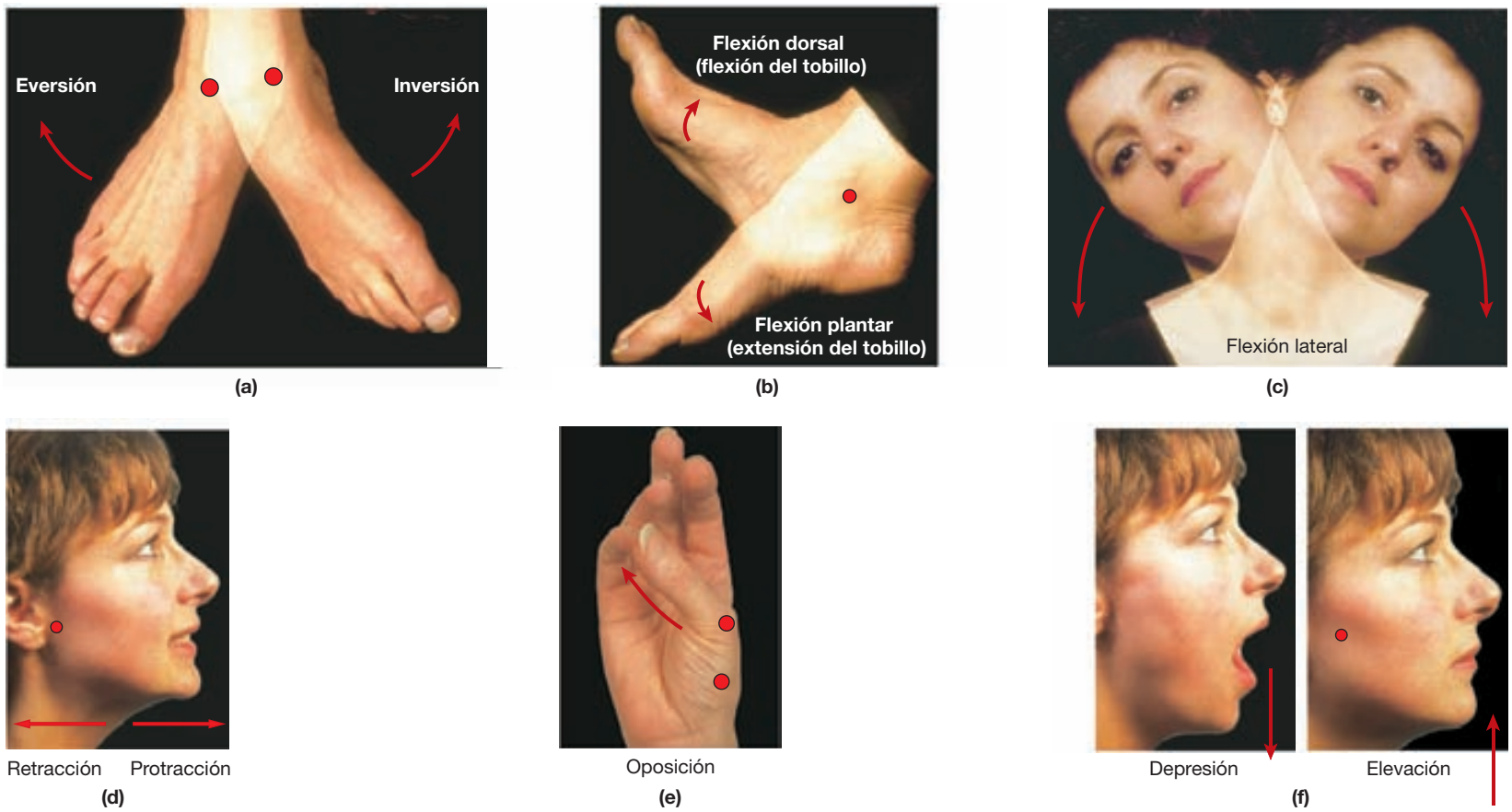


Figura 8.5 Movimientos especiales
Ejemplos de términos especiales utilizados para describir el movimiento de una articulación específica o una dirección peculiar del desplazamiento: **(a)** eversión/inversión, **(b)** flexión dorsal/flexión plantar, **(c)** flexión lateral, **(d)** retracción/protracción, **(e)** oposición, **(f)** depresión/elevación.

Clasificación estructural de las diartrosis [v. figura 8.6]

Las diartrosis son articulaciones sinoviales de movimiento libre. Como dejan una gran amplitud para su realización, se clasifican según el tipo y el grado de desplazamientos permitidos. La estructura de la articulación es lo que determina su movimiento.

- **Artrodias:** Las **artrodias,** también llamadas *articulaciones planas* o *deslizantes,* tienen unas caras aplanadas o algo curvadas (v. figura 8.6a). Sus superficies articulares relativamente planas resbalan entre sí, pero la magnitud del movimiento es muy escasa. Los ligamentos suelen impedir o restringir la rotación. Hay artrodias en los extremos de las clavículas, en los huesos del carpo y del tarso, y entre las carillas articulares de las vértebras contiguas. Las artrodias pueden ser *no axiales,* lo que significa que sólo permiten pequeños movimientos de deslizamiento, o *multiaxiales,* lo que quiere decir que los permiten en cualquier dirección.
- **Gínglimos:** Los **gínglimos** o trócleas permiten movimientos angulares en un solo plano, como sucede al abrir y cerrar una puerta (v. figura 8.6b). Un gínglimo es un ejemplo de articulación monoaxial. Dos de sus casos serían el codo y la rodilla.
- **Trocoides:** Las **trocoides** también son monoaxiales, pero no permiten más que la rotación (v. figura 8.6c). La trocoide entre el atlas y el axis deja rotar la cabeza hacia ambos lados.
- **Condíleas:** En una **condílea,** o *articulación elipsoidal,* existe una cara articular ovalada que queda acogida en la depresión correspondiente de la superficie opuesta (v. figura 8.6d). Con dicha disposición, el movimiento angular se realiza en dos planos, a lo largo o a lo ancho del óvalo. Por tanto, es un ejemplo de articulación biaxial. Son condíleas las que conectan los dedos de las manos y de los pies con los huesos metacarpianos y metatarsianos, respectivamente.
- **Articulaciones en silla de montar:** Las **articulaciones en silla de montar** (v. figura 8.6e) tienen unas carillas articulares complejas. Cada una de ellas se parece a una montura porque es cóncava en un eje y convexa en el otro. Se trata de unas articulaciones sumamente móviles, que permiten amplios movimientos angulares, pero sin rotación. Suelen clasificarse como articulaciones biaxiales. El movimiento de la articulación en silla de montar que hay en la base del pulgar es una demostración excelente al respecto, que además ofrece una excusa para matar el tiempo durante una clase.
- **Enartrosis:** En una **enartrosis** (v. figura 8.6f), la cabeza redonda de un hueso se apoya en la depresión en forma de copa que le ofrece el otro. Por esta razón, pueden efectuarse todas las combinaciones posibles de movimientos, incluso la rotación. Son articulaciones triaxiales, y entre sus ejemplos figuran la del hombro y la de la cadera.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. En un recién nacido, los huesos grandes del cráneo están unidos mediante tejido conjuntivo fibroso. ¿Qué tipo de articulación es esta? Con el paso del tiempo, estos huesos crecen, encajan entre sí y forman unas articulaciones inmóviles. ¿Qué tipo de articulaciones son estas otras?
2. Asigne el término correcto a cada uno de los siguientes tipos de movimiento: a) alejar el húmero de la línea media del cuerpo; b) girar la palma de la mano hasta que mire hacia delante, y c) doblar el codo.

Véase «Respuestas» al final del libro.

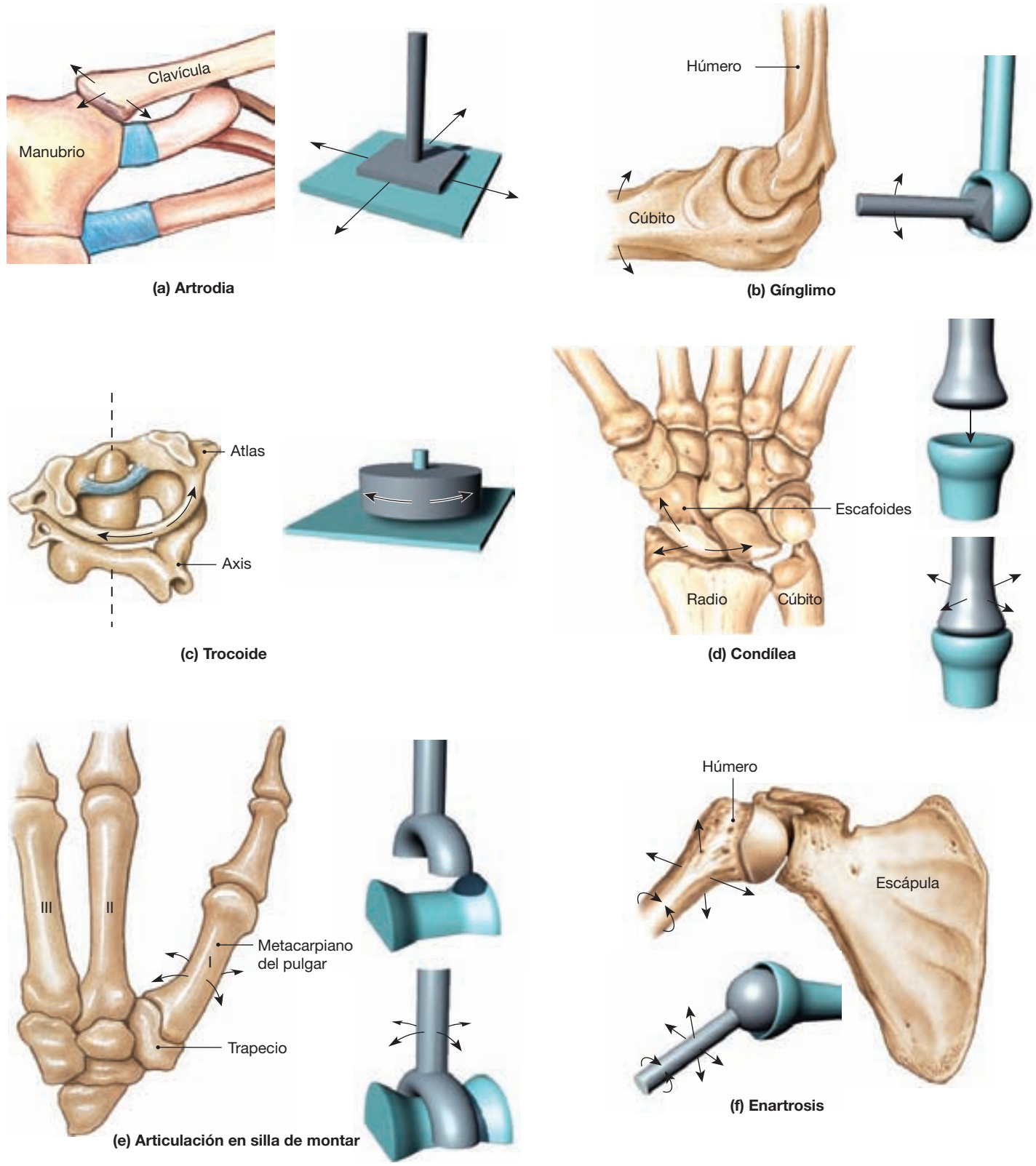


Figura 8.6 **Clasificación estructural de las diartrosis**
El plan de clasificación está basado en el grado de movimientos permitidos.

Articulaciones más representativas

Este apartado analiza unos cuantos ejemplos de articulaciones que permiten presentar diversos principios funcionales importantes. En primer lugar, trataremos varias articulaciones del esqueleto de la cabeza y el tronco: 1) la *articulación temporomandibular* (ATM) entre la mandíbula y el hueso temporal; 2) las *articulaciones intervertebrales* entre vértebras contiguas, y 3) la *articulación esternoclavicular* entre la clavícula y el esternón. A continuación, estudiaremos las diartrosis del esqueleto de las extremidades. El hombro muestra una gran movilidad, el codo tiene gran resistencia y la muñeca efectúa correcciones finas como medio de orientar la palma de la mano y los dedos. Las articulaciones de la extremidad inferior están sometidas a unas exigencias funcionales muy diferentes a los de la extremidad superior. Las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo deben transmitir el peso corporal hasta el suelo y durante ciertos movimientos como la carrera, el salto o el giro, las fuerzas aplicadas resultan considerablemente mayores que el peso del cuerpo. Aun-

que este apartado analiza determinadas articulaciones representativas, las tablas 8.3, 8.4 y 8.5 resumen información concerniente a la mayoría de las articulaciones del cuerpo.

Articulación temporomandibular [v. figura 8.7]

La **articulación temporomandibular** (v. figura 8.7) es una articulación multiaxial pequeña, pero compleja, formada entre la fosa mandibular del hueso temporal y la apófisis condílea de la mandíbula [pp. 145, 151-152]. Los huesos articulados se encuentran separados por un disco grueso de cartílago fibroso. Este, con su posición horizontal, divide la cavidad articular en dos espacios independientes. Por esta razón, en realidad la articulación temporomandibular está integrada por dos diartrosis, una entre el hueso temporal y el disco articular, y la otra entre el disco articular y la mandíbula.

La cápsula articular que rodea este complejo no se encuentra bien delimitada. Su porción situada por encima del cuello del cóndilo está relativamente holgada, mientras que la parte inferior al disco articular está bastante ajustada. La estructura de la cápsula permite una gran amplitud de movimientos. Sin embargo, como su estabilidad es escasa, los desplazamientos laterales o anteriores enérgicos pueden producir una luxación parcial o total.

La porción lateral de la cápsula articular, que es relativamente gruesa, se denomina **ligamento lateral** (*temporomandibular*). También existen otros dos ligamentos extracapsulares:

- El **ligamento estilomandibular,** que va desde la apófisis estiloides hasta el borde posterior del ángulo en la rama de la mandíbula.
- El **ligamento esfenomandibular,** que se extiende desde la espina del esfenoides hasta la cara medial de la rama de la mandíbula. Su inserción recubre la porción posterior de la línea milohioidea.

La articulación temporomandibular es básicamente un gínglimo, pero su espaciosa cápsula y las superficies articulares relativamente planas también permiten pequeñas acciones de deslizamiento y rotación. Estos movimientos secundarios son importantes para colocar la comida sobre las superficies dentales de trituración.

Articulaciones intervertebrales [v. figura 8.8]

Las articulaciones entre las apófisis articulares superiores e inferiores de dos vértebras contiguas son unas artrodias que permiten pequeños movimientos asociados a la flexión y la extensión de la columna vertebral, la flexión lateral y la rotación. Entre los cuerpos vertebrales adyacentes se produce un pequeño deslizamiento. La figura 8.8 muestra la estructura de las articulaciones intervertebrales. Desde el axis hasta el sacro, las vértebras están separadas y amortiguadas por unas almohadillas de cartílago fibroso llamadas **discos intervertebrales.** Estos discos no existen ni en el sacro ni en el cóccix, donde las vértebras se han fusionado, ni tampoco entre la primera y la segunda vértebras cervicales. La articulación entre C_1 y C_2 se describió en el capítulo 6 [p. 164].

Discos intervertebrales [v. figuras 8.8/8.9a]

Los discos intervertebrales cumplen dos funciones: 1) separar las vértebras entre sí, y 2) transmitir la carga de una vértebra a la siguiente. Cada disco intervertebral (v. figuras 8.8 y 8.9a) está constituido por dos partes. La primera es una capa externa dura formada por cartílago fibroso, el **anillo fibroso.** Este anillo rodea al segundo elemento que compone el disco intervertebral, el **núcleo pulposo.** El núcleo pulposo es el centro gelatinoso, elástico y blando, integrado primordialmente por agua (más o menos el 75%), que contiene unas fibras elásticas y reticulares dispersas en su interior. En estas condiciones, concede resistencia y flexibilidad al disco, y lo capacita para actuar como un amortiguador. Las superficies superior e inferior de este último están cubiertas casi del todo por los delgados *platillos vertebrales.* Estos platillos constan de cartílago fibroso y hialino. Se encuentran ligados al anillo fibroso del disco intervertebral y tienen una unión débil con las vértebras contiguas. Las inserciones vertebrales son suficiente como medio para estabilizar la posición del disco intervertebral, y los ligamentos intervertebrales explicados en el próximo apartado aportan un refuerzo complementario.

Los movimientos de la columna vertebral oprimen el núcleo pulposo y lo desplazan en sentido opuesto a su acción. Esta desviación permite unos suaves movimientos de deslizamiento en cada vértebra sin perder por ello la alineación mantenida entre todas. Los discos contribuyen de forma con-

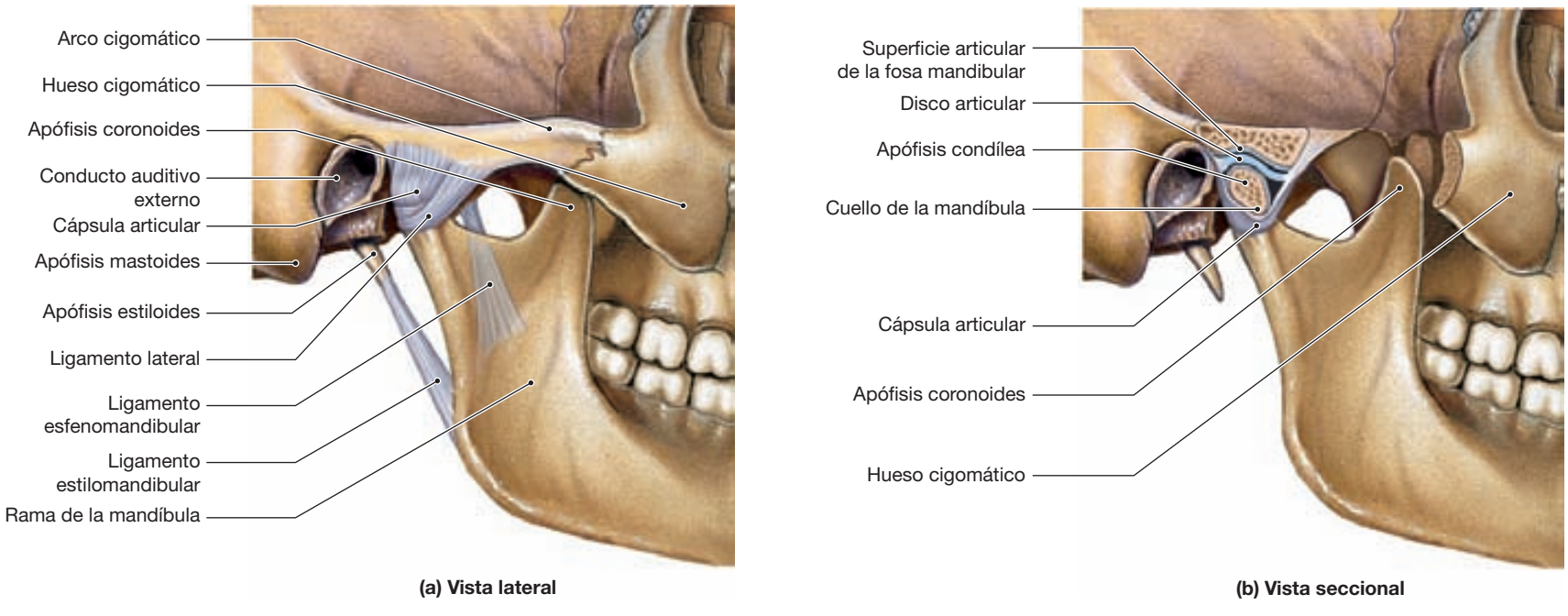


Figura 8.7 Articulación temporomandibular
Este gínglimo está formado entre la apófisis condílea de la mandíbula y la fosa mandibular del hueso temporal. **(a)** Vista lateral de la articulación temporomandibular derecha. **(b)** Vista de la misma articulación en una sección.

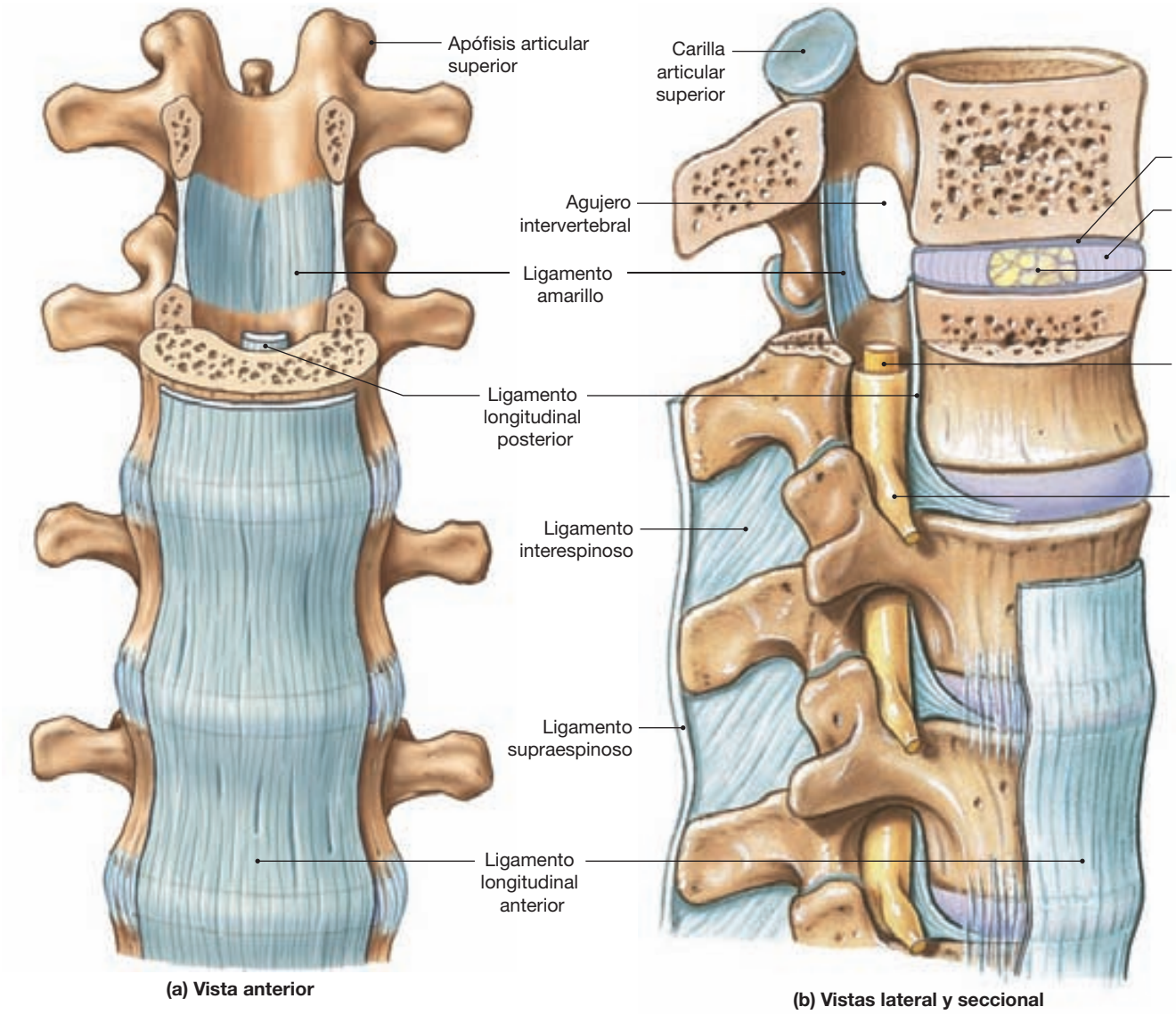


Figura 8.8 Articulaciones intervertebrales
Las vértebras contiguas se articulan mediante sus apófisis articulares superiores e inferiores; los cuerpos están separados por los discos intervertebrales. **(a)** Vista anterior. **(b)** Vistas lateral y seccional.

siderable a la talla de una persona; ocupan alrededor de la cuarta parte de la altura que mide la columna vertebral por encima del sacro. Con el paso de los años, disminuye la cantidad de agua que contiene el núcleo pulposo en cada disco. De esta manera, los discos pierden poco a poco su eficacia como amortiguadores, y aumenta el peligro de sufrir una lesión vertebral. La salida de agua desde los discos también provoca un acortamiento de la columna vertebral; esta reducción explica el descenso de estatura característico que sucede con la edad.

Ligamentos intervertebrales [v. figura 8.8]

Numerosos ligamentos se encuentran fijados a los cuerpos y a las apófisis de todas las vértebras para unirlas y estabilizar la columna vertebral (**v. figura 8.8**). Los que conectan las vértebras vecinas entre sí son el *ligamento longitudinal anterior,* el *ligamento longitudinal posterior,* el *ligamento amarillo,* el *ligamento interespinoso* y el *ligamento supraespinoso.*

- El *ligamento longitudinal anterior* enlaza la cara anterior de cada cuerpo vertebral.
- El *ligamento longitudinal posterior* va paralelo al ligamento longitudinal anterior, pero a través de la cara posterior de cada cuerpo.
- El *ligamento amarillo* enlaza las láminas de las vértebras contiguas.
- El *ligamento interespinoso* enlaza las apófisis espinosas de las vértebras adyacentes.
- El *ligamento supraespinoso* enlaza entre sí las apófisis espinosas por su punta desde C_7 hasta el sacro. El *ligamento nucal,* expuesto en el capítulo 6, es un ligamento supraespinoso que va desde C_7 hasta la base del cráneo [p. 164].

Movimientos de las vértebras [v. tabla 8.3]

En la columna vertebral son posibles los siguientes movimientos: 1) **flexión anterior,** inclinación hacia adelante; 2) **extensión,** inclinación hacia atrás; 3) **flexión lateral,** inclinación hacia un lado, y 4) **rotación** o giro.

La tabla 8.3 resume la información concerniente a las articulaciones y los movimientos del esqueleto de la cabeza y el tronco.

Articulación esternoclavicular [v. figura 8.10]

La **articulación esternoclavicular** es una diartrosis establecida entre el extremo medial de la clavícula y el manubrio del esternón. Esta articulación sirve para fijar la escápula al esqueleto de la cabeza y el tronco, y se la considera como un componente funcional de la articulación del hombro.

Nota clínica

Problemas con los discos intervertebrales Cuando un disco intervertebral recibe una presión superior a sus límites normales, puede sufrir una alteración temporal o permanente. Si los ligamentos longitudinales posteriores están debilitados, como sucede a menudo con el paso de los años, el núcleo pulposo comprimido está en condiciones de deformar el anillo fibroso, y empujarlo parcialmente hacia el conducto vertebral. Este proceso suele denominarse **prolapso discal** (v. figura 8.9a), aunque en realidad el disco no se haya salido de su lugar. Los niveles con problemas discales más frecuentes son C_5-C_6, L_4-L_5 y L_5-S_1.

Al verse sometido a una intensa compresión, el núcleo pulposo puede abrirse paso a través del anillo fibroso y penetrar en el conducto vertebral. Este trastorno se llama **hernia discal** (v. figura 8.9b). Cuando un disco se hernia, se produce una deformación de los nervios sensitivos, lo que genera dolor; la masa saliente también puede presionar sobre los nervios que atraviesan el agujero intervertebral. La **ciática** es una consecuencia dolorosa de la compresión sufrida por las raíces del nervio ciático. En ocasiones, el dolor agudo inicial que afecta a la parte inferior de la espalda se denomina **lumbago.**

La mayoría de los problemas de los discos lumbares pueden tratarse satisfactoriamente con alguna pauta que combine reposo, fajas para la espalda, analgésicos (calmantes) y fisioterapia. Para aliviar los síntomas, sólo es preciso intervenir quirúrgicamente un 10% de los casos de hernia discal lumbar aproximadamente. En esta intervención, se extirpa el disco y se fusionan los cuerpos vertebrales con el fin de impedir el movimiento. Para acceder al disco responsable, el cirujano debe eliminar el arco vertebral más cercano, recortando las láminas. Por esta razón, el procedimiento recibe el nombre de **laminectomía.**

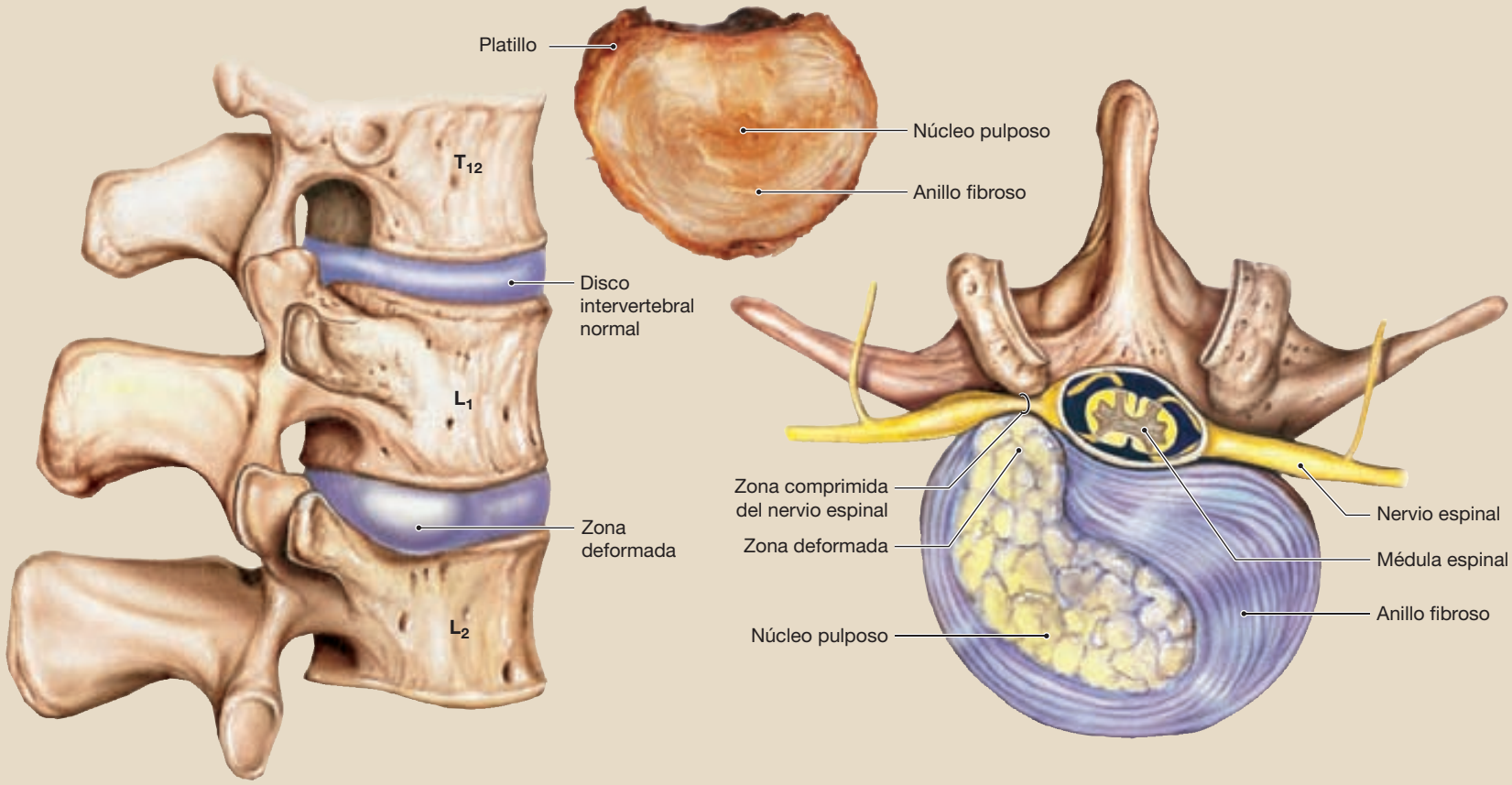


Figura 8.9 Afectación de los discos intervertebrales
(a) Vista lateral de la columna vertebral en su región lumbar, que muestra unos discos intervertebrales normales y deformados («prolapsados»). Se ofrece la cara superior de un disco intervertebral normal después de separarlo, para su comparación con **(b),** la vista de una sección a través de un disco herniado, que manifiesta el desplazamiento del núcleo pulposo y su efecto sobre la médula espinal y los nervios vecinos.

Igual que la articulación temporomandibular (v. p. 214), la articulación esternoclavicular está dividida por un disco articular que separa dos cavidades sinoviales (v. figura 8.10). La cápsula articular se encuentra en tensión y es densa, lo que aporta estabilidad, pero permite pocos movimientos. Además, presenta el refuerzo de dos ligamentos auxiliares, el **ligamento esternoclavicular anterior** y el **ligamento esternoclavicular posterior.** También existen otros dos ligamentos extracapsulares:

- El **ligamento interclavicular** conecta las clavículas entre sí y refuerza la porción superior de las cápsulas articulares adyacentes. Este ligamento, que también se encuentra fijado con fuerza al borde superior del manubrio, evita las luxaciones al descender los hombros.
- El amplio **ligamento costoclavicular** salta desde el tubérculo costal de la clavícula, cerca del límite inferior de la cápsula articular, hasta los bordes superior y medial de la primera costilla y el primer cartílago costal. Este ligamento evita la luxación al elevar los hombros.

La articulación esternoclavicular es básicamente una artrodia; sin embargo, las fibras capsulares permiten una ligera rotación y circunducción de la clavícula.

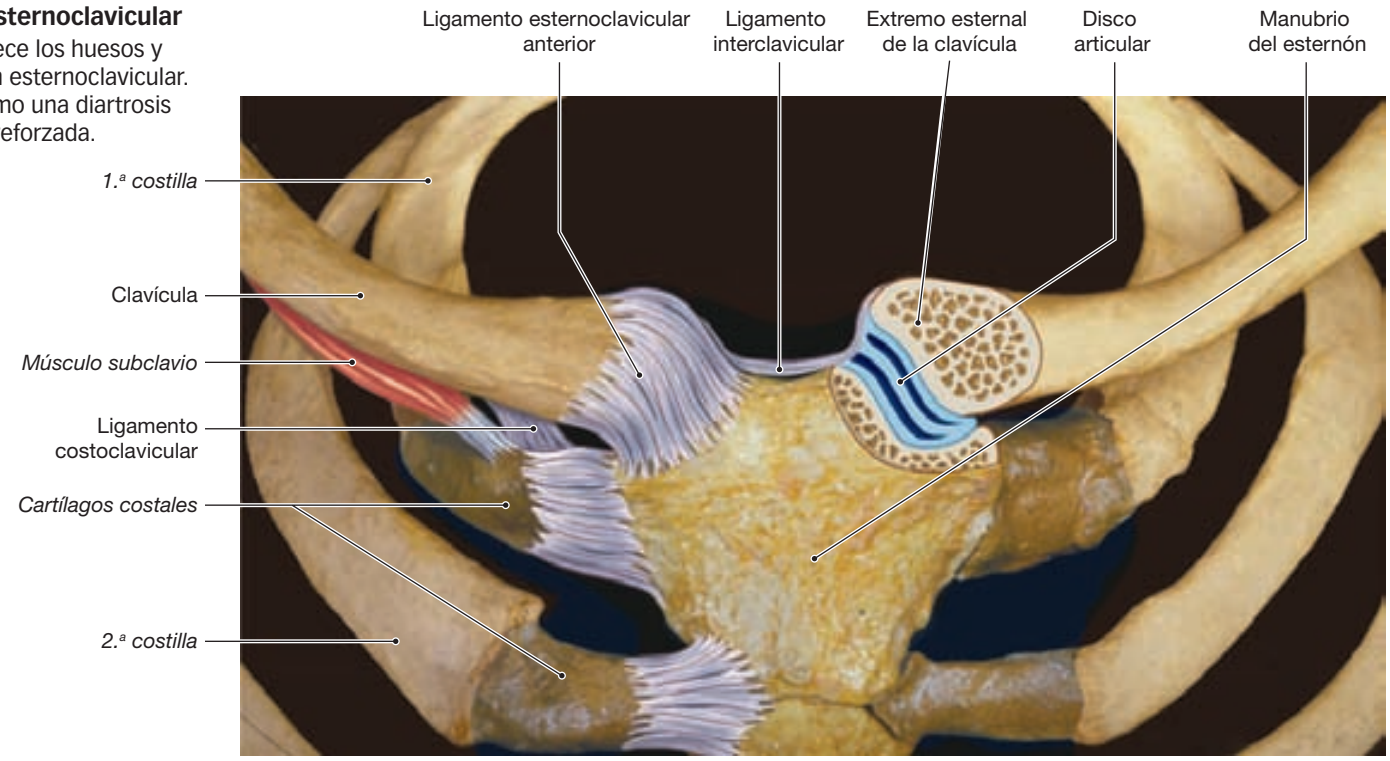


Figura 8.10 Articulación esternoclavicular
Vista anterior del tórax, que ofrece los huesos y los ligamentos de la articulación esternoclavicular. Esta articulación se clasifica como una diartrosis de tipo artrodia, estable y muy reforzada.

Articulación del hombro [v. figura 8.11]

La **articulación del hombro,** o **articulación glenohumeral,** es una articulación holgada y poco profunda, que permite la máxima amplitud de movimientos entre cualquiera de las articulaciones del cuerpo. La forma de las estructuras articuladas, y la gran amplitud de movimientos acompañante, nos permite colocar la mano en distintas posiciones para cumplir una gran variedad de funciones. Como la articulación del hombro también es la que presenta más luxaciones, ofrece una excelente demostración del principio de que hay que sacrificar la resistencia y la estabilidad para obtener movilidad.

Esta articulación es del tipo de las enartrosis, formada por la cabeza del húmero y la cavidad glenoidea de la escápula (v. figura 8.11). En vida, el reborde de la cavidad glenoidea está cubierto por el **rodete glenoideo** (v. figura 8.11c,d), que aumenta la profundidad de la superficie articular. Este rodete es un anillo de tejido conjuntivo denso irregular, que se encuentra fijado al límite de la cavidad glenoidea por cartílago fibroso. Además de ensanchar la cavidad articular, sirve como zona de inserción para los ligamentos glenohumerales y la porción larga del músculo bíceps braquial, un flexor del hombro y del codo.

La cápsula articular va desde el cuello de la escápula hasta el húmero. Tiene un tamaño relativamente mayor que lo normal, y su superficie inferior es más débil. Cuando la extremidad superior está en posición anatómica, la cápsula se encuentra tensa por su parte superior y holgada por la inferior y la anterior. Su configuración contribuye a dejar una enorme amplitud de movimientos a la articulación del hombro. Los huesos de la cintura escapular proporcionan cierta estabilidad a su superficie superior, porque el acromion y la apófisis coracoides sobresalen en sentido lateral por encima de la cabeza humeral. Sin embargo, la mayor parte de su estabilidad procede de dos estructuras: 1) los ligamentos, y 2) los músculos estriados que la rodean y sus tendones asociados.

Ligamentos [v. figura 8.11]

Los principales ligamentos encargados de estabilizar la articulación glenohumeral están representados en la figura 8.11a-c y se describen a continuación.

- La cápsula que rodea a la articulación del hombro es relativamente fina, pero tiene unas zonas anteriores de mayor densidad en unas regiones denominadas **ligamentos glenohumerales.** Como las fibras capsulares suelen estar holgadas, estos ligamentos participan en la estabilización articular sólo cuando se acerca el húmero o al rebasar los límites de su movimiento normal.
- El gran **ligamento coracohumeral** nace en la base de la apófisis coracoides y se inserta en la cabeza del húmero. Este ligamento refuerza la parte superior de la cápsula articular y sirve para sostener el peso de la extremidad superior.
- El **ligamento coracoacromial** cubre el hueco existente entre la apófisis coracoides y el acromion, un poco por encima de la cápsula. Este ligamento ofrece un refuerzo suplementario a la superficie superior de la cápsula.
- El sólido **ligamento acromioclavicular** une el acromion con la clavícula, lo que restringe el movimiento de este hueso en su extremo acromial. La *separación del hombro* es una lesión relativamente frecuente, que conlleva la luxación parcial o total de la articulación acromioclavicular. Su origen puede estar en un golpe recibido sobre la superficie superior del hombro. El acromion queda deprimido por la fuerza del impacto, pero la clavícula aguanta debido a sus potentes músculos.
- Los **ligamentos coracoclaviculares** ligan la clavícula a la apófisis coracoides y sirven para limitar el movimiento relativo entre la clavícula y la escápula.
- El **ligamento transverso del húmero** salta entre los tubérculos mayor y menor de este hueso y bajo él contiene el tendón de la cabeza larga del músculo bíceps braquial dentro del surco intertubercular del húmero.

Músculos estriados y tendones

Los músculos que mueven el húmero contribuyen más a la estabilidad de la articulación glenohumeral que todos los ligamentos y fibras capsulares. Desde sus orígenes en el tronco, la cintura escapular y el húmero, estos músculos cubren las superficies anterior, superior y posterior de la cápsula. Los tendones que cruzan la articulación refuerzan las porciones capsulares anterior y superior. Los tendones de los músculos específicos de la extremidad sostienen el hombro y limitan su amplitud de movimientos. Estos músculos, que en conjunto reciben el nombre de *manguito de los rotadores,* son un lugar afectado frecuentemente por los traumatismos deportivos.

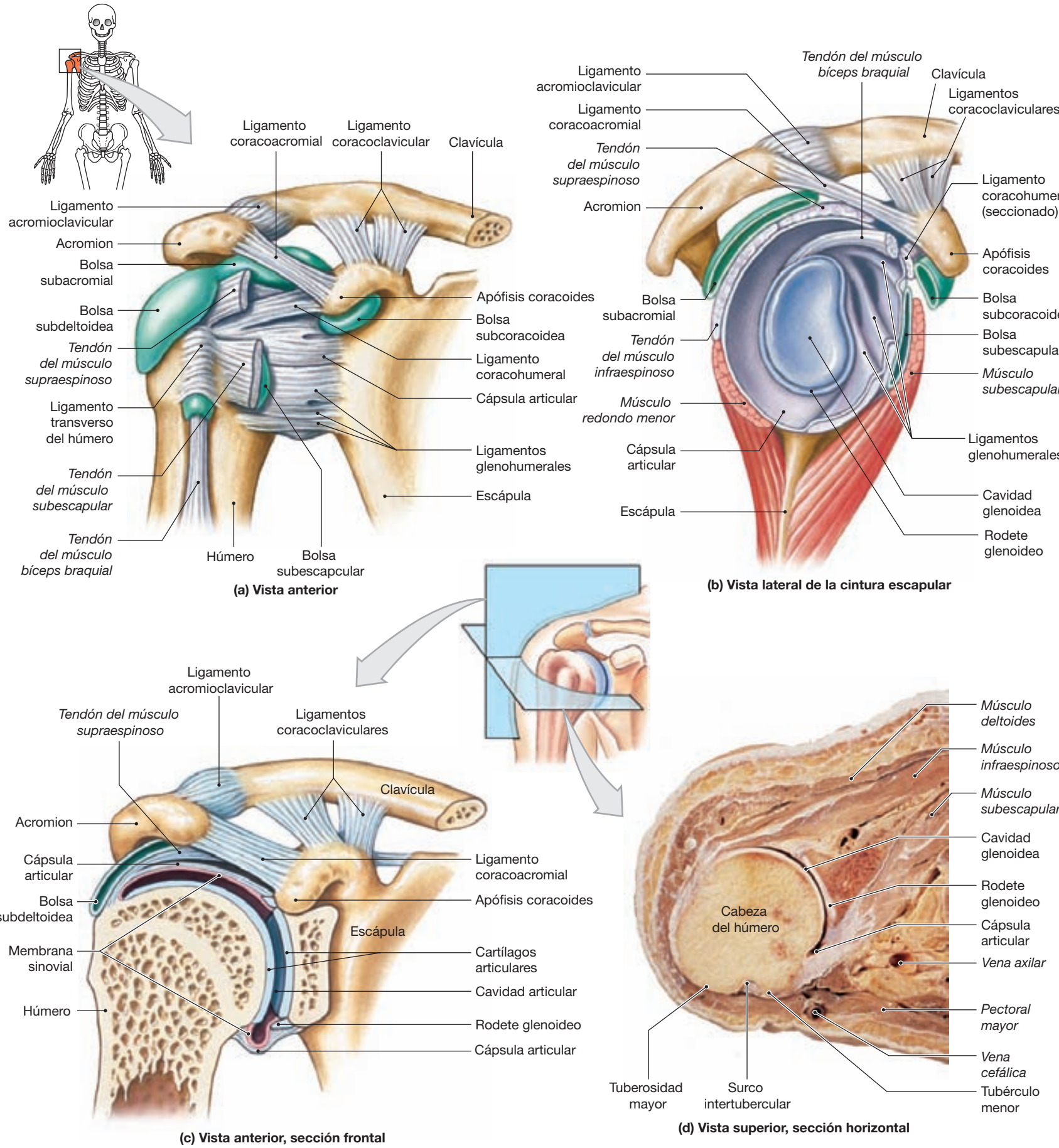


Figura 8.11 Articulación glenohumeral

Enartrosis formada entre el húmero y la escápula. **(a)** Vista anterior de la articulación del hombro derecho. **(b)** Articulación del hombro derecho, vista lateral (tras retirar el húmero). **(c)** Sección frontal a través de la articulación del hombro derecho, vista anterior. **(d)** Sección horizontal que pasa la articulación del hombro derecho, vista superior.

Nota clínica

Lesiones del hombro Cuando se produce un choque por una carga frontal, como en un bloqueo (en el fútbol americano) o una carga (en el hockey), el hombro suele localizarse en mitad de la zona de impacto. La clavícula ofrece el único punto de apoyo fijo para la cintura escapular y es incapaz de resistir grandes fuerzas. Como la cápsula del hombro está poco reforzada en su superficie inferior, las luxaciones ocasionadas por una colisión o por una contracción muscular violenta afectan más a menudo a este punto. La luxación puede desgarrar la pared capsular inferior y el rodete glenoideo. El proceso curativo normalmente deja una debilidad y la consiguiente inestabilidad de la articulación, lo que acentúa el riesgo de luxación en el futuro.

Bolsas [v. figura 8.11a-c]

Igual que en otras articulaciones, las *bolsas* del hombro reducen el roce en aquellas zonas donde los grandes músculos y tendones cruzan la cápsula articular [p. 208]. El hombro contiene un número relativamente alto de bolsas importantes. La **bolsa subacromial** y la **bolsa subcoracoidea** (v. figura 8.11a,b) impiden el contacto del acromion y la apófisis coracoides con la cápsula. La **bolsa subdeltoidea** y la **bolsa subescapular** (v. figura 8.11a-c) se hallan situadas entre grandes músculos y la pared capsular. La inflamación de alguna de estas bolsas o de varias puede limitar los movimientos y generar los síntomas dolorosos de una **bursitis.**

Articulación del codo [v. figura 8.12]

La **articulación del codo** es compleja y está compuesta por las articulaciones entre: 1) el húmero y el cúbito, y 2) el húmero y el radio. Su presencia posibilita la flexión y la extensión del codo. Estos movimientos, sumados a los que se producen en las articulaciones radiocubitales comentadas más adelante, colocan la mano en posición, lo que permite efectuar una gran variedad de actividades, como alimentarse, cepillarse o defenderse, nada más que cambiando la situación de la mano con respecto al tronco.

La articulación más grande y resistente del codo es la *articulación humerocubital,* en la cual la tróclea del húmero se introduce en la escotadura troclear del cúbito [pp. 179, 183]. La *articulación humerorradial* es más pequeña, ocupa un espacio lateral a la articulación humerocubital y en ella el capítulo del húmero se articula con la cabeza del radio (v. figura 8.12).

La articulación del codo resulta sumamente estable porque: 1) las superficies óseas del húmero y el cúbito se acoplan para impedir su movimiento lateral y su rotación; 2) la cápsula articular es muy gruesa, y 3) está reforzada por unos ligamentos potentes. La cara medial de la articulación se encuentra estabilizada por el **ligamento lateral interno.** Por la parte anterior, este ligamento se extiende desde el epicóndilo medial del húmero hasta la apófisis coronoides del cúbito, y por la posterior llega hasta el olécranon (v. figura 8.12a,b). El **ligamento lateral externo** estabiliza la cara lateral de la articulación, y se dirige desde el epicóndilo lateral del húmero hasta el **ligamento anular,** que une la cabeza proximal del radio al cúbito (v. figura 8.12e).

A pesar de la resistencia que ofrecen la cápsula y los ligamentos, la articulación del codo puede lesionarse al verse sometida a un impacto intenso o a una agresión excepcional. Por ejemplo, al caerse sobre una mano con el codo en flexión parcial, la contracción de los músculos que lo extienden puede romper el cúbito por el centro de la escotadura troclear. Una sobrecarga menos violenta es capaz de causar luxaciones u otras lesiones en el codo, sobre todo si el crecimiento epifisario no ha acabado. Por ejemplo, unos padres apurados pueden llevar a su hijo pequeño a rastras detrás de ellos y ejercer una tracción de torsión hacia arriba sobre la articulación del codo, que acabe por determinar una luxación parcial denominada «codo de niñera».

Articulaciones radiocubitales (v. figura 8.13)

Las articulaciones *radiocubital proximal* y *radiocubital distal* permiten la supinación y la pronación del antebrazo. En la articulación radiocubital proximal, la cabeza del radio se articula con la *escotadura radial del cúbito* [pp. 179, 183]. La cabeza del radio permanece en su sitio gracias al **ligamento anular** (v. figura 8.13a). La articulación radiocubital distal es una diartrosis de tipo trocoide. Sus superficies articulares son la *escotadura cubital del radio,* la *escotadura radial del cúbito* y un fragmento de cartílago hialino denominado *disco articular.* Estas superficies mantienen su unión gracias a una serie de ligamentos radiocubitales y a la *membrana interósea del antebrazo* (v. figura 8.13b).

La pronación y la supinación de las articulaciones radiocubitales están controladas por los músculos que se insertan en el radio. El más grande es el *músculo bíceps braquial,* que cubre la cara anterior del brazo. Su tendón se fija en el radio a nivel de la *tuberosidad radial,* y al contraerse produce la flexión del codo y la supinación del antebrazo. Posteriormente, en el capítulo 11, se detallarán los músculos responsables del movimiento en las articulaciones del codo y en las radiocubitales.

Articulaciones de la muñeca [v. figura 8.14]

El carpo, o muñeca, contiene la **articulación de la muñeca** (v. figura 8.14), constituida por la **articulación radiocarpiana** y las **articulaciones intercarpianas.** En la articulación radiocarpiana participan la superficie articular distal del radio y tres huesos proximales del carpo: el escafoides, el semilunar y el piramidal. En conjunto, se trata de una condílea que permite la flexión/extensión, la aducción/abducción y la circunducción. Las articulaciones intercarpianas son artrodias que posibilitan los movimientos de deslizamiento y de ligera torsión.

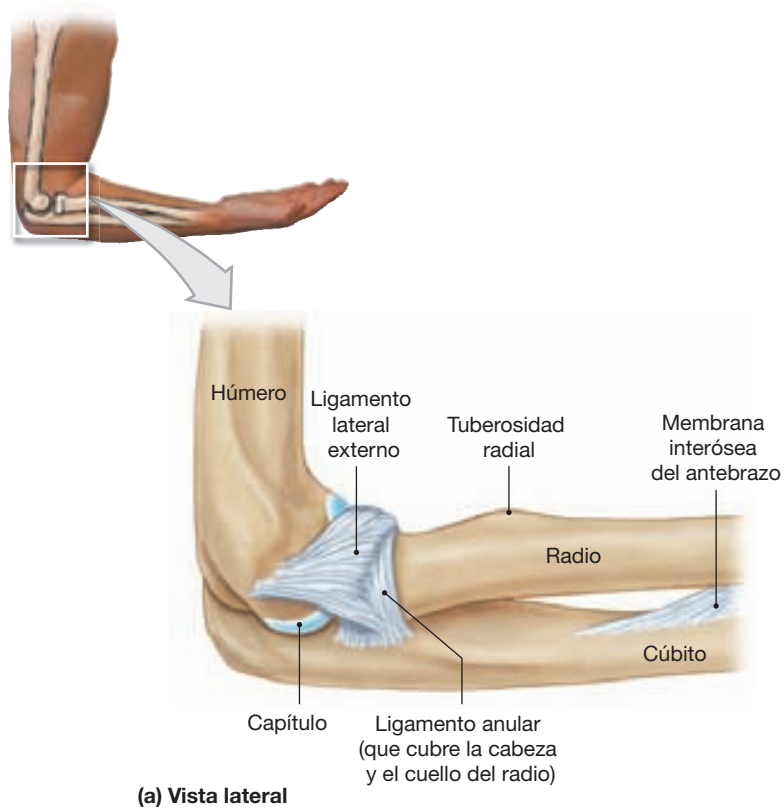
Estabilidad de la muñeca [v. figura 8.14b,c]

Las superficies del carpo que no intervienen en las articulaciones son rugosas debido a la inserción de ligamentos y al paso de tendones. Una cápsula dura de tejido conjuntivo, reforzada por ligamentos anchos, rodea la muñeca y estabiliza la posición de cada hueso en el carpo (v. figura 8.14b,c). Los principales ligamentos son los siguientes:

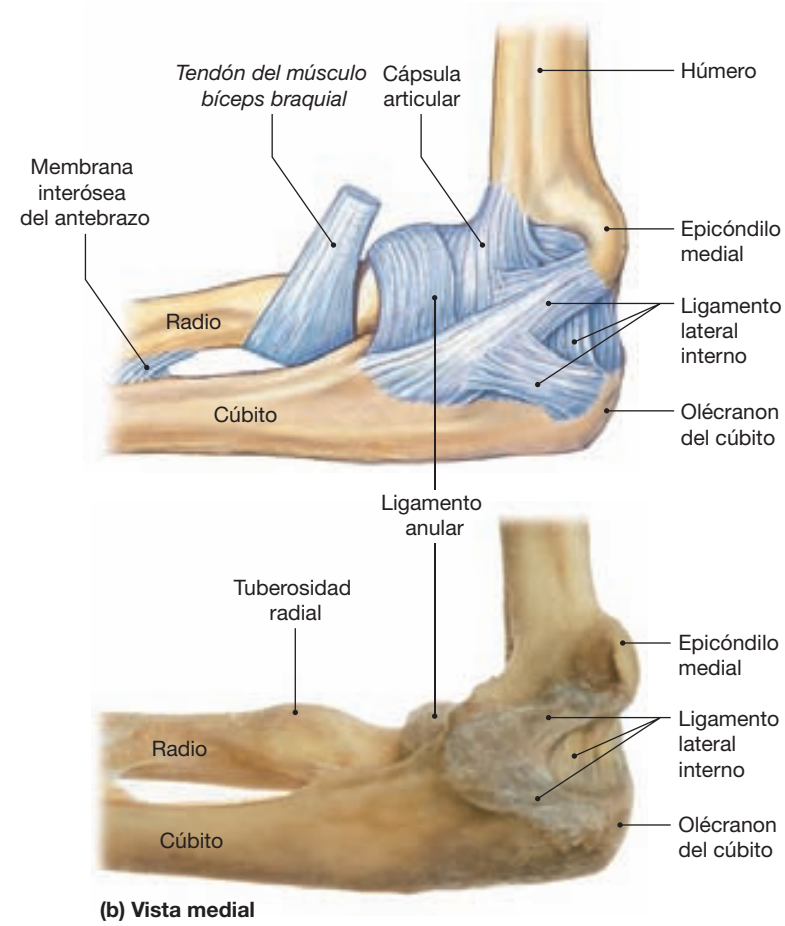
- El *ligamento radiocarpiano palmar,* que conecta la parte distal del radio con la cara anterior del escafoides, el semilunar y el piramidal.
- El *ligamento radiocarpiano dorsal,* que une la parte distal del radio con la cara posterior de los mismos huesos del carpo (cosa que no se observa en una vista palmar).
- El *ligamento lateral interno de la muñeca,* que salta desde la apófisis estiloides del cúbito hasta la cara medial del piramidal.
- El *ligamento lateral externo de la muñeca,* que va desde la apófisis estiloides del radio hasta la cara lateral del escafoides.

Además de estos ligamentos claramente visibles, hay toda una diversidad de *ligamentos intercarpianos,* que conectan los huesos del carpo entre sí, y de *ligamentos carpometacarpianos,* que unen los huesos distales del carpo a los metacarpianos (v. figura 8.14c).

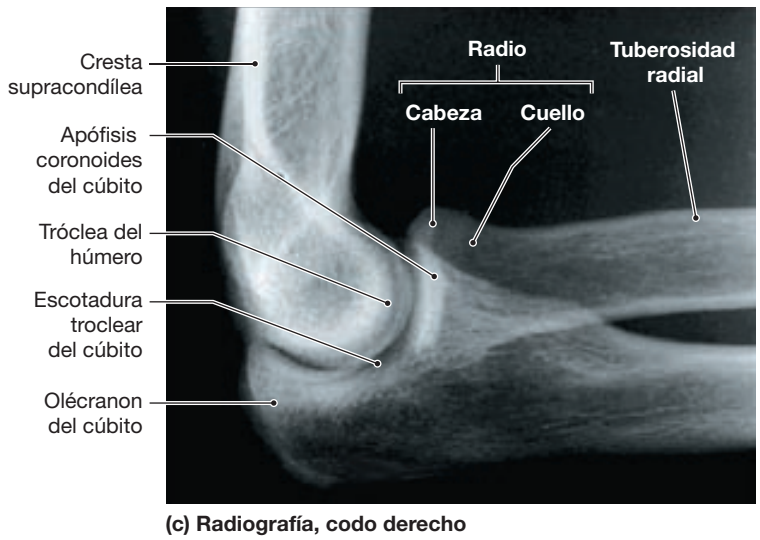
Los tendones que cruzan la articulación de la muñeca ofrecen un refuerzo añadido. (Son muchos los que participan, y no están representados en la figura adjunta; los examinaremos con sus músculos correspondientes en el capítulo 11.) Los tendones de los músculos que producen la flexión en las articulaciones de la muñeca y de los dedos pasan por la cara anterior de la primera en un plano superficial a los ligamentos de la propia articulación. En el caso de los que producen la extensión, cruzan la cara posterior de un modo similar. Un par de ligamentos transversales anchos forman un arco



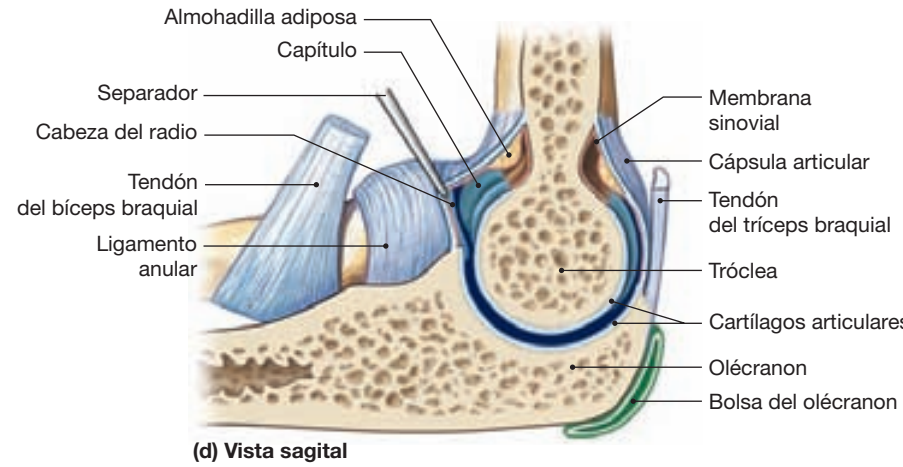
(a) Vista lateral



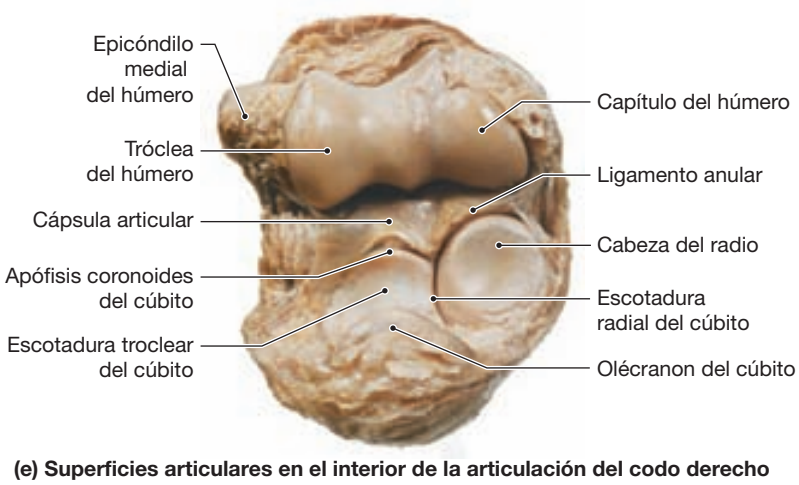
(b) Vista medial



(c) Radiografía, codo derecho



(d) Vista sagital



(e) Superficies articulares en el interior de la articulación del codo derecho

Figura 8.12 Articulación del codo

La articulación del codo es un gínglimo complejo formado entre el húmero por un lado y el cúbito y el radio por el otro. Todas las vistas corresponden a la articulación del codo derecho. **(a)** Vista lateral. **(b)** Vista esquemática medial. El radio aparece en pronación; obsérvese la posición del tendón del bíceps braquial, que se inserta en la tuberosidad radial. **(c)** Radiografía. **(d)** Vista sagital del codo. **(e)** Vista posterior; se ha cortado la porción posterior de la cápsula y se ha abierto la cavidad articular para mostrar las superficies enfrentadas.

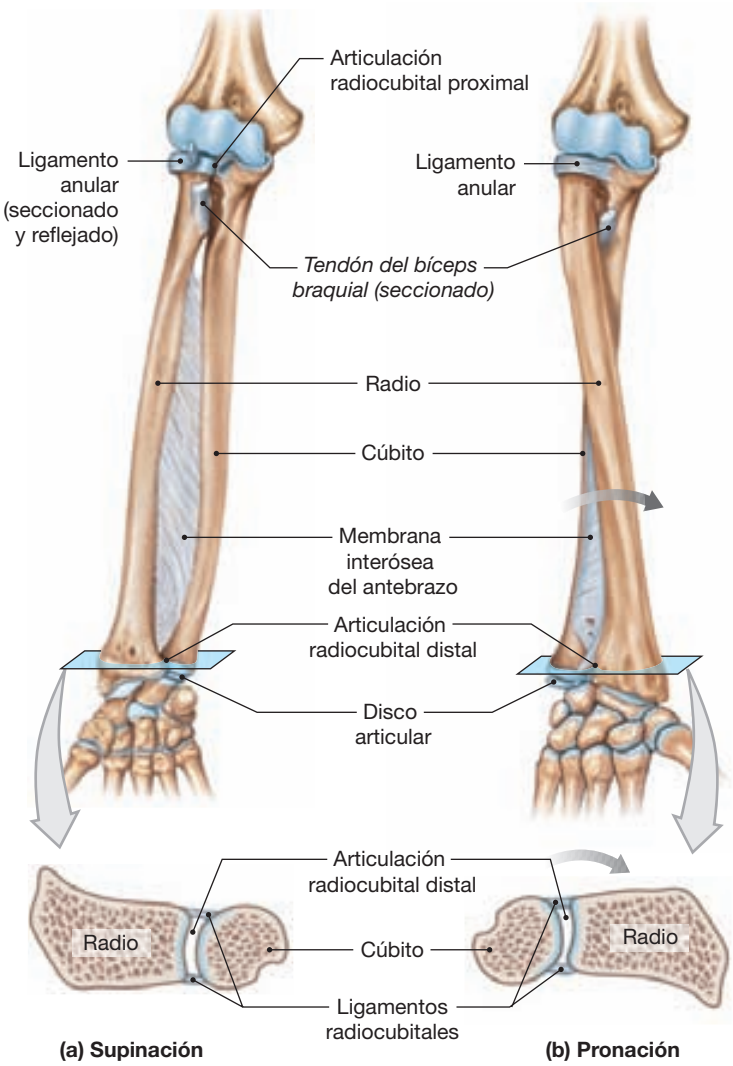


Figura 8.13 Articulaciones radiocubitales

sobre las superficies anterior y posterior de la muñeca a un nivel superficial a estos tendones, y se encargan de mantenerlos en su sitio.

Articulaciones de la mano [v. figura 8.14 y tabla 8.4]

Los huesos del carpo se articulan con los metacarpianos de la palma de la mano (**v. figura 8.14a**). El primer hueso metacarpiano presenta una articulación en la muñeca de tipo silla de montar, la **articulación carpometacarpiana** del pulgar (**v. figura 8.14b,d**). Todas las demás articulaciones carpometacarpianas son artrodias. Una **articulación intercarpiana** está constituida por la articulación carpocarpiana. Las articulaciones entre los huesos metacarpianos y las falanges proximales **(articulaciones metacarpofalángicas)** son condíleas, y permiten la flexión/extensión, la aducción/abducción y la circunducción. Las **articulaciones interfalángicas** son gínglimos, que dejan efectuar la flexión y la extensión (**v. figura 8.14d**).

Las tablas 8.3 y 8.4 resumen las características de las articulaciones pertenecientes al esqueleto de la cabeza y el tronco, y de la extremidad superior, respectivamente.

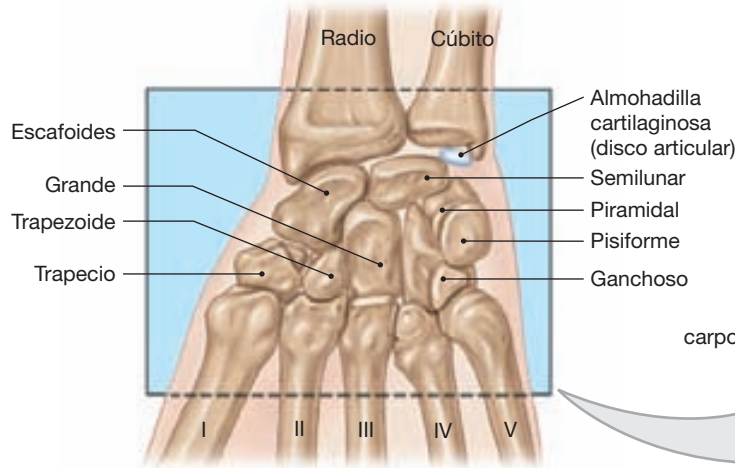
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Quién tendría más probabilidades de sufrir una inflamación de la bolsa subescapular, un tenista o una persona que corra para hacer ejercicio? ¿Por qué?
2. Mary sufre una caída sobre la palma de la mano con el codo en ligera flexión. Después, no puede mover el brazo izquierdo a nivel del codo. Si existe una fractura, ¿qué hueso es más fácil que esté roto?

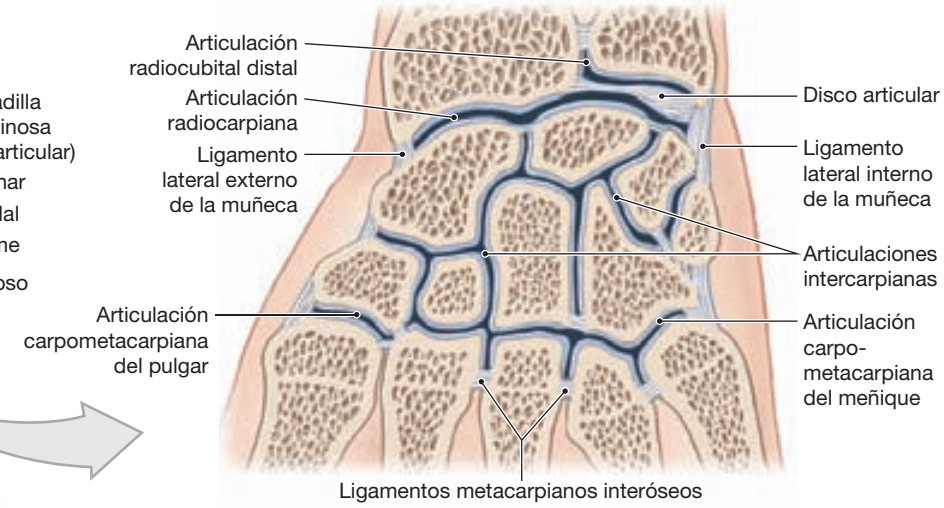
Véase «Respuestas» al final del libro.

TABLA 8.3 Articulaciones del esqueleto de la cabeza y del tronco

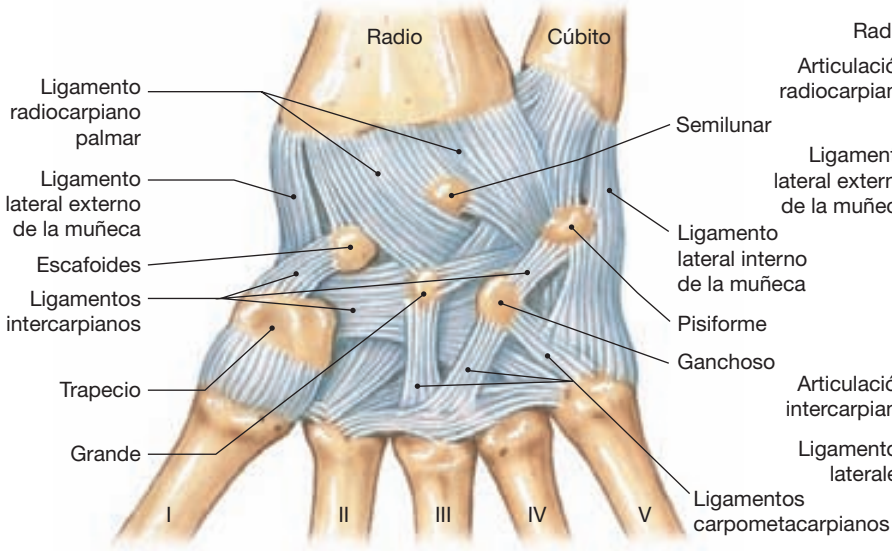
Elemento	Articulación	Tipo de articulación	Movimiento
CRÁNEO			
Huesos craneales y faciales de la cabeza	Varias	Sinartrosis (sutura o sinostosis)	Ninguno
Maxilar/dientes	Alveolar	Sinartrosis (gonfosis)	Ninguno
Mandíbula/dientes	Alveolar	Igual que arriba	Ninguno
Hueso temporal/mandíbula	Temporomandibular	Diartrosis combinada de artrodia y gínglimo	Elevación/depresión, deslizamiento lateral, pequeña protracción/retracción
COLUMNA VERTEBRAL			
Hueso occipital/atlas	Atlantooccipital	Diartrosis condílea	Flexión/extensión
Atlas/axis	Atlantoaxoidea	Diartrosis trocoide	Rotación
Otros elementos vertebrales	Intervertebral (entre los cuerpos vertebrales)	Anfiartrosis (sínfisis)	Ligero movimiento
	Intervertebral (entre las apófisis articulares)	Diartrosis artrodia	Ligera rotación y flexión/extensión
Vértebras torácicas/costillas	Vertebrocostal	Diartrosis artrodia	Elevación/depresión
Costilla/cartílago costal		Sincondrosis	Ninguno
Cartílago costal/esternón	Esternocostal	Sincondrosis (costilla l)	Ninguno
		Diartrosis artrodia (costillas 2-7)	Ligero movimiento de deslizamiento
L_5/sacro	Entre el cuerpo de L_5 y el cuerpo del sacro	Anfiartrosis (sínfisis)	Ligero movimiento
	Entre la apófisis articular inferior de L_5 y la apófisis articular del sacro	Diartrosis artrodia	Ligera flexión/extensión
Sacro/huesos coxales	Sacroilíaca	Diartrosis artrodia	Ligero movimiento de deslizamiento
Sacro/cóccix	Sacrococcígea	Diartrosis artrodia (puede fusionarse)	Ligero movimiento
Huesos coccígeos		Sinartrosis (sinostosis)	Ninguno



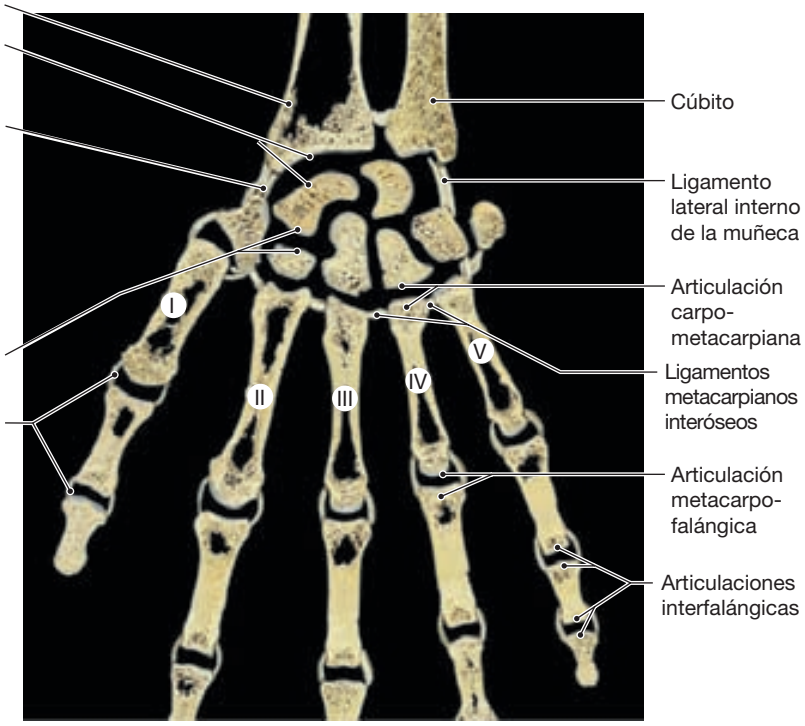
(a) Muñeca derecha, vista anterior (palmar)



(b) Articulaciones de la muñeca, sección coronal



(c) Ligamentos de la muñeca, vista anterior (palmar)



(d) Articulaciones y ligamentos de la muñeca y de la mano, sección coronal

Figura 8.14 Articulaciones de la muñeca y de la mano

(a) Vista anterior de la muñeca derecha, que permite identificar los componentes de la articulación de la muñeca. **(b)** Vista de una sección a través de la muñeca, que ofrece las articulaciones radiocarpiana, intercarpiana y carpometacarpiana. **(c)** Ligamentos estabilizadores en la cara anterior (palmar) de la muñeca. **(d)** Vista de una sección a través de los huesos que forman la muñeca y la mano.

TABLA 8.4 Articulaciones de la cintura escapular y de la extremidad superior

Elemento	Articulación	Tipo de articulación	Movimiento
Esternón/clavícula	Esternoclavicular	Diartrosis artrodia (una «artrodia» doble, con dos cavidades articulares separadas por un cartílago articular)	Protracción/retracción, depresión/elevación, ligera rotación
Escápula/clavícula	Acromioclavicular	Diartrosis artrodia	Ligero movimiento de deslizamiento
Escápula/húmero	Glenohumeral (hombro)	Diartrosis enartrosis	Flexión/extensión, aducción/abducción, circunducción, rotación
Húmero/cúbito y húmero/radio	Codo (humerocubital y humerorradial)	Diartrosis gínglima	Flexión/extensión
Radio/cúbito	Radiocubital proximal Radiocubital distal	Diartrosis trocoide Diartrosis trocoide	Rotación Pronación/supinación
Radio/huesos del carpo	Radiocarpiana	Diartrosis condílea	Flexión/extensión, aducción/abducción, circunducción
Hueso del carpo/hueso del carpo	Intercarpiana	Diartrosis artrodia	Ligero movimiento de deslizamiento
Hueso del carpo/primer hueso metacarpiano	Carpometacarpiana del pulgar	Diartrosis en silla de montar	Flexión/extensión, aducción/abducción, circunducción, oposición
Huesos del carpo/huesos metacarpianos II-V	Carpometacarpiana	Diartrosis artrodia	Ligera flexión/extensión, aducción/abducción
Huesos metacarpianos/falanges	Metacarpofalángica	Diartrosis condílea	Flexión/extensión, aducción/abducción, circunducción
Falange/falange	Interfalángica	Diartrosis gínglima	Flexión/extensión

Articulación de la cadera [v. figura 8.15]

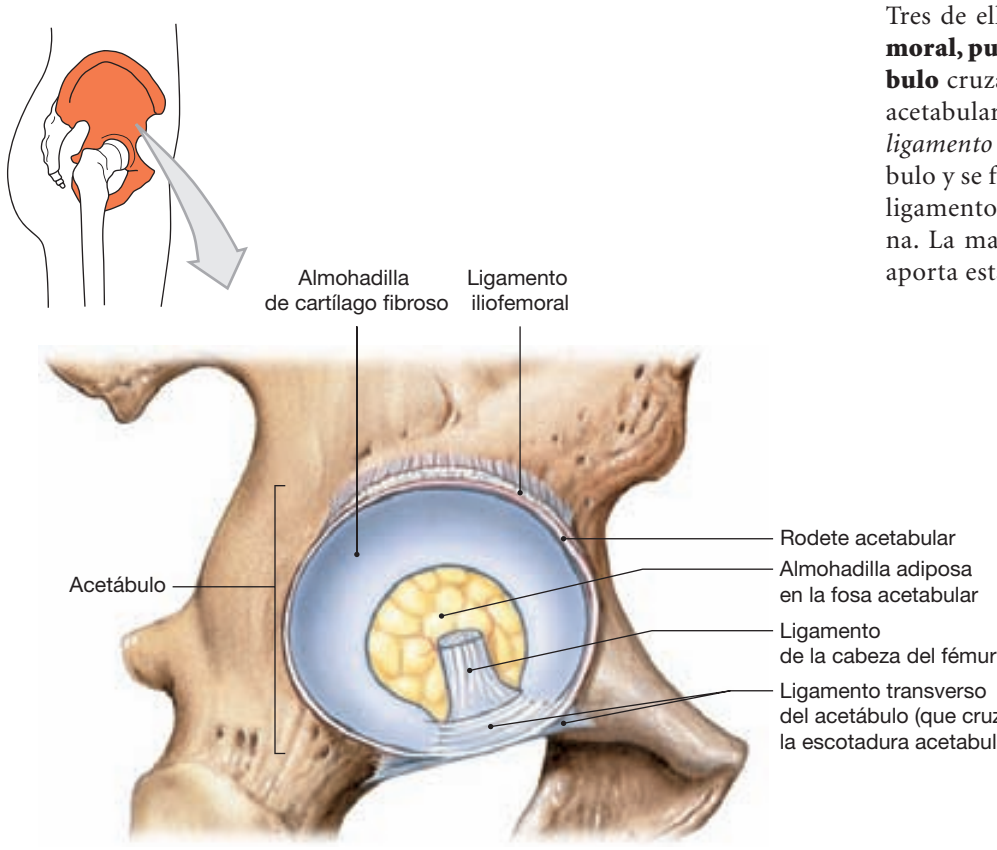
La figura 8.15 ofrece la estructura de la **articulación de la cadera.** En esta enartrosis, la superficie articular del acetábulo está tapizada por una almohadilla de cartílago fibroso, que se extiende como una herradura a los lados de la **escotadura acetabular** (v. figura 8.15a). Una almohadilla adiposa revestida por una membrana sinovial cubre la porción central del acetábulo. Esta almohadilla actúa con la función de un amortiguador, y el tejido adiposo se aplasta y se deforma sin lesión.

Cápsula articular [v. figura 8.15a-c]

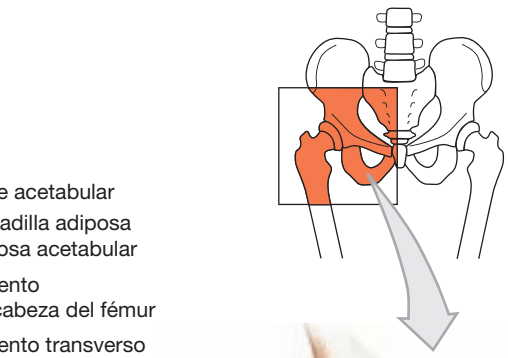
La cápsula articular de la articulación de la cadera es sumamente densa, fuerte y profunda (v. figura 8.15b,c). A diferencia del hombro, en este caso ejerce una poderosa contribución a la estabilidad articular. La cápsula se extiende desde la superficie lateral e inferior de la cintura pélvica hasta la línea intertrocantérea y la cresta intertrocantérea del fémur, y encierra en su interior la cabeza y el cuello del fémur. Su disposición sirve para impedir que la cabeza se salga del acetábulo. Por ende, además hay un reborde circular de cartílago fibroso, llamado **rodete acetabular** (v. figura 8.15a), que aumenta la profundidad del acetábulo.

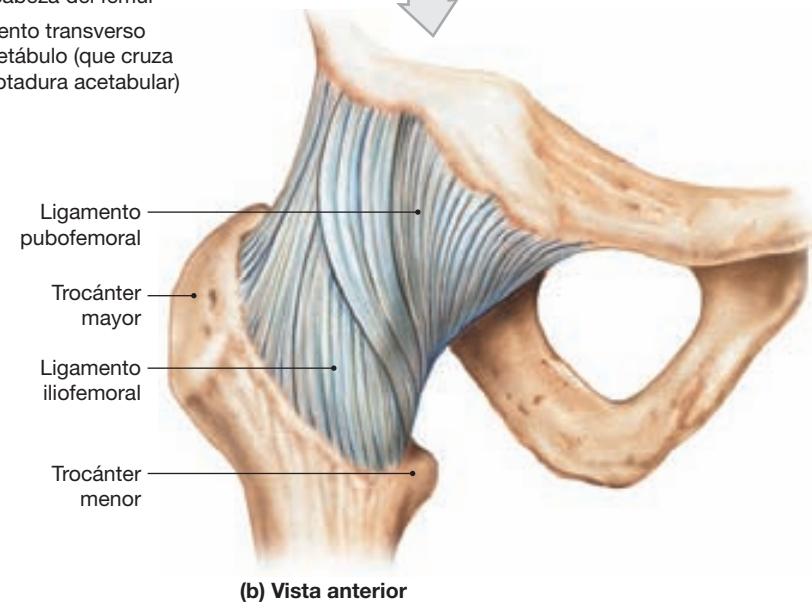
Estabilización de la cadera [v. figuras 8.15/8.16]

Cuatro ligamentos anchos refuerzan la cápsula articular (v. figura 8.15b,c). Tres de ellos son engrosamientos regionales suyos: los **ligamentos iliofemoral, pubofemoral** e **isquiofemoral.** El **ligamento transverso del acetábulo** cruza la escotadura acetabular y completa el borde inferior de la fosa acetabular. Un quinto ligamento, el **ligamento de la cabeza del fémur,** o *ligamento redondo,* se origina a lo largo del ligamento transverso del acetábulo y se fija en el centro de la cabeza femoral (v. figuras 8.15a y 8.16). Este ligamento sólo se tensa cuando el muslo en flexión sufre una rotación externa. La masa de los músculos que rodean a la articulación de la cadera le aporta estabilidad adicional. Aunque tenga permitidos los movimientos de

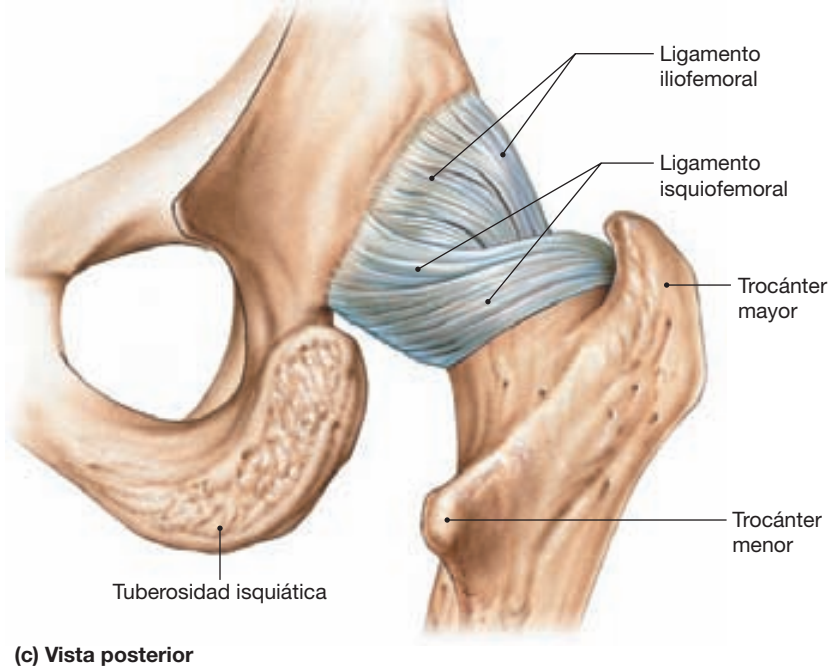

Almohadilla de cartílago fibroso
Ligamento iliofemoral
Acetábulo
Rodete acetabular
Almohadilla adiposa en la fosa acetabular
Ligamento de la cabeza del fémur
Ligamento transverso del acetábulo (que cruza la escotadura acetabular)

(a) Vista lateral



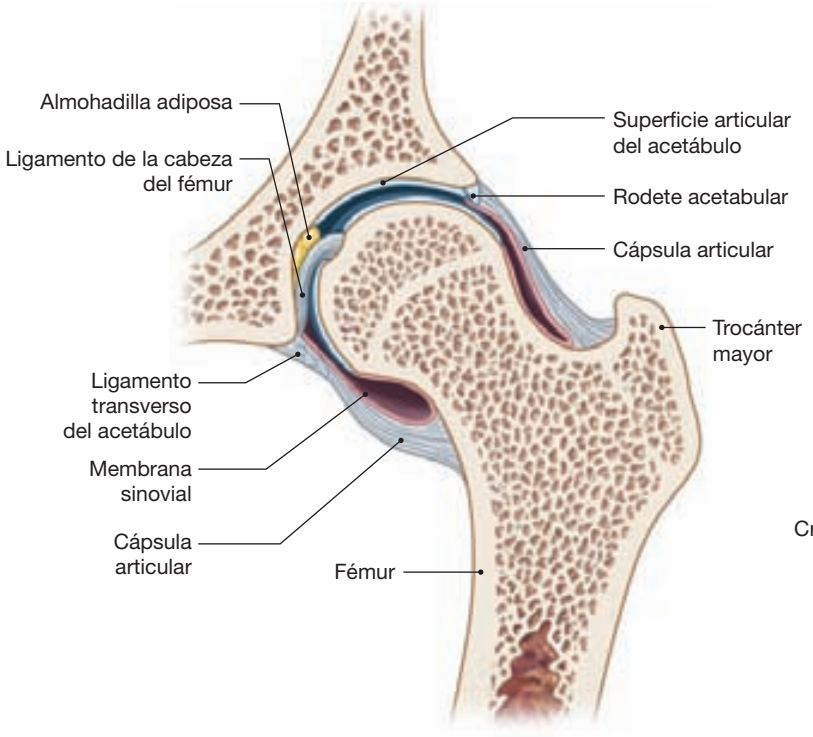


(b) Vista anterior

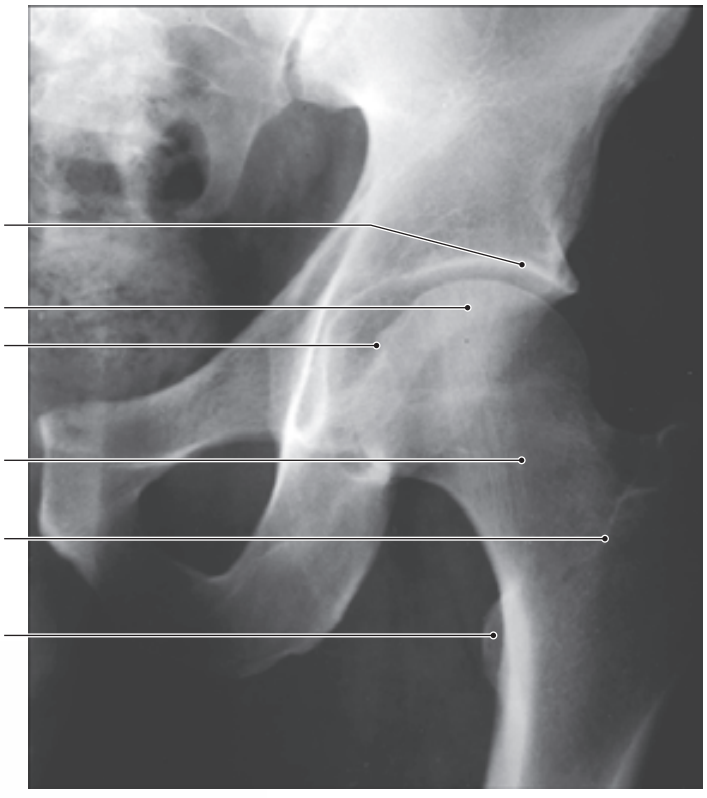


(c) Vista posterior

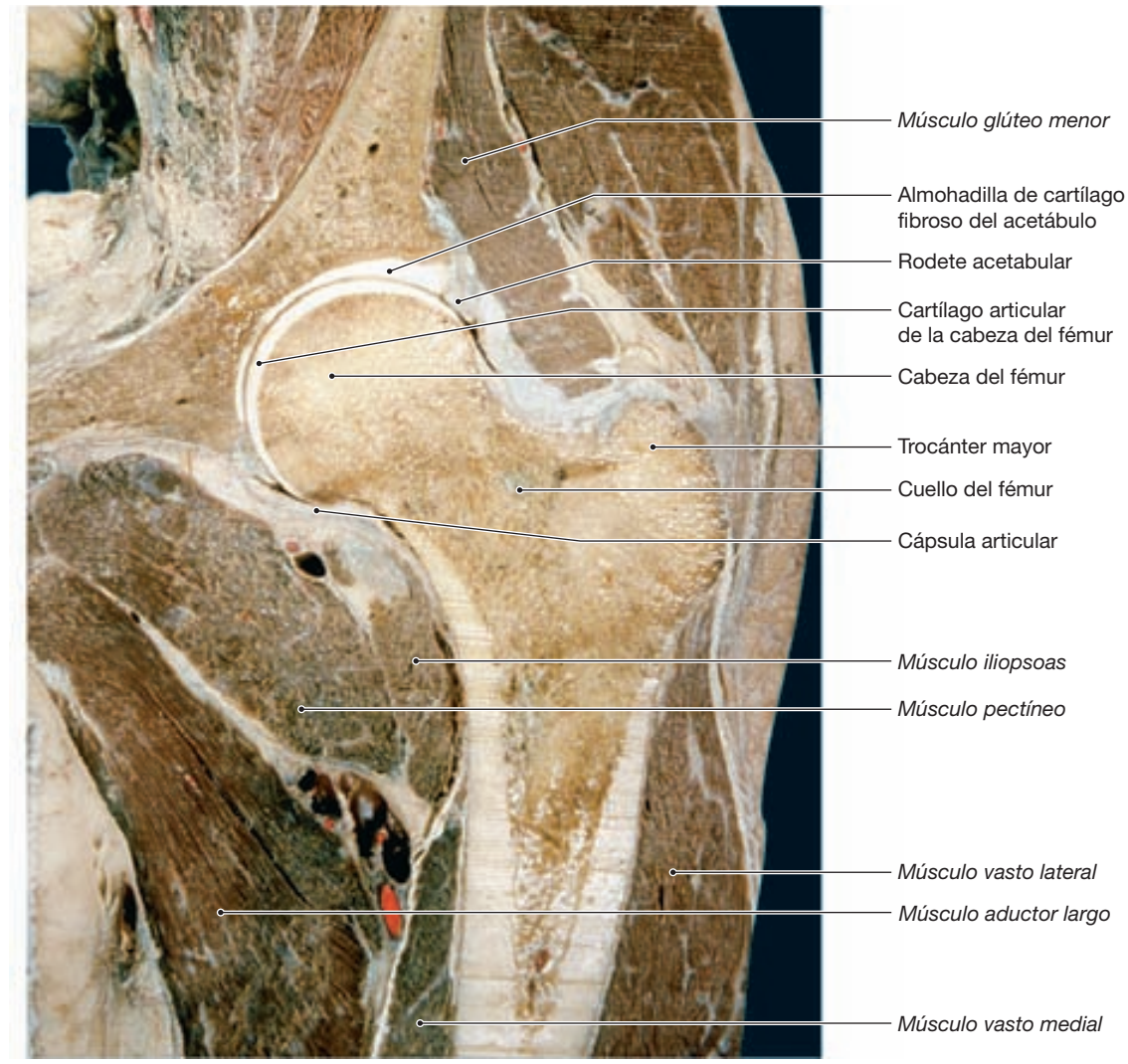
Figura 8.15 Articulación de la cadera
Vistas de la articulación de la cadera y de sus ligamentos de refuerzo.
(a) Vista lateral de la articulación de la cadera derecha tras retirar el fémur.
(b) Vista anterior de la articulación de la cadera derecha. Esta articulación es sumamente resistente y estable, en parte debido a la sólida cápsula que posee.
(c) Vista posterior de la articulación de la cadera derecha, con un número mayor de ligamentos que añaden resistencia a la cápsula.



(a) Vista seccional



(b) Radiografía



(c) Sección coronal a través de la cadera

Figura 8.16 Estructura articular de la cadera
Vistas de secciones coronales que pasan por la articulación de la cadera. **(a)** Vista que muestra la posición del ligamento de la cabeza del fémur y su orientación. **(b)** Radiografía de la articulación de la cadera derecha, proyección anteroposterior. **(c)** Sección coronal a través de la cadera.

flexión, extensión, aducción, abducción y rotación, la flexión de la cadera es su acción normal más importante. Todas estas posibilidades se encuentran limitadas por la combinación de diversos aspectos como los ligamentos, las fibras capsulares, la profundidad de la cavidad ósea y la masa de los músculos a su alrededor.

Una cavidad ósea casi completa que encierra la cabeza del fémur, más una potente cápsula articular, unos robustos ligamentos de refuerzo y una densa almohadilla muscular, son los elementos que dotan de inmensa estabilidad a esta articulación. En realidad, resultan más frecuentes las fracturas del cuello femoral o las que se dan entre los trocánteres que las luxaciones de cadera.

Articulación de la rodilla

La articulación de la rodilla es la responsable, en unión con las articulaciones de la cadera y del tobillo, de aguantar el peso del cuerpo durante toda una serie de actividades, como estar de pie, caminar y correr. Sin embargo, la anatomía de la rodilla debe cumplir esta misión a la vez que: 1) es la articulación de la extremidad inferior que presenta la mayor amplitud de movimientos (hasta 160°) entre todas; 2) carece de la gran masa muscular que sustenta y refuerza la cadera, y 3) no posee los potentes ligamentos que mantienen la articulación del tobillo.

Aunque la rodilla funcione como un gínglimo, la articulación es bastante más complicada que la del codo. Los dos cóndilos femorales redondeados ruedan sobre la superficie superior de la tibia, por lo que constantemente cambian sus puntos de contacto. La rodilla es mucho menos estable que otros gínglimos, y aparte de la flexión y la extensión, tiene permitido cierto grado de rotación. Desde el punto de vista estructural, está compuesta por dos articulaciones contenidas en una compleja cápsula sinovial: una entre la tibia y el fémur (la *articulación tibiofemoral*) y otra entre la rótula y la superficie rotuliana del fémur (la *articulación femororrotuliana*) [pp. 193-196].

Cápsula articular [v. figuras 8.17/8.18b,c]

En la rodilla no hay una sola cápsula unificada, ni tampoco una cavidad sinovial en común (v. figura 8.17). Entre sus superficies femoral y tibial se hallan un par de almohadillas de cartílago fibroso, los **meniscos medial** y **lateral** (v. figura 8.18b,c). Sus funciones son: 1) actuar como unos cojines; 2) adaptarse a la forma de las superficies articuladas cuando el fémur cambia de posición; 3) aumentar la superficie de la articulación tibiofemoral, y 4) aportar cierta estabilidad lateral a la articulación. Unas **almohadillas adiposas** de notable tamaño sirven como relleno alrededor de los bordes de la articulación y colaboran con las bolsas para reducir el roce entre la rótula y otros tejidos (v. figura 8.17a,b,d).

Ligamentos de refuerzo [v. figuras 8.17/8.18]

Siete ligamentos fundamentales se encargan de estabilizar la articulación de la rodilla, y su luxación total es un fenómeno extremadamente raro.

- El tendón de los músculos responsables de extender la rodilla pasa sobre la superficie anterior de la articulación (v. figura 8.17a,d). La rótula está empotrada dentro de este tendón, y el **ligamento rotuliano** continúa su trayecto hasta su inserción en la cara anterior de la tibia. Este ligamento actúa como un apoyo para la parte anterior de la articulación de la rodilla (v. figura 8.17b), donde no existe una cápsula continua.

El resto de los ligamentos de refuerzo se agrupan como ligamentos extracapsulares o intracapsulares, según su localización con respecto a la cápsula articular. Los ligamentos extracapsulares son los siguientes:

- El **ligamento lateral interno de la rodilla** refuerza la articulación de la rodilla por su cara medial, y el **ligamento lateral externo de la rodilla** lo hace por la lateral (v. figuras 8.17a y 8.18). Estos ligamentos sólo se tensan en la extensión máxima, la posición en la que sirven para estabilizar la articulación.
- Dos **ligamentos poplíteos** superficiales van desde el fémur a las cabezas de la tibia y el peroné (v. figura 8.18). Estos ligamentos refuerzan la parte posterior de la articulación de la rodilla.
- Los ligamentos intracapsulares son el **ligamento cruzado anterior (LCA)** y el **ligamento cruzado posterior (LCP),** que fijan el área intercondílea de la tibia a los cóndilos del fémur. Los adjetivos *anterior* y *posterior* se refieren a sus lugares de origen en la tibia, pues en su avance hacia su destino en el fémur, se cruzan entre sí (v. figura 8.18b,c). (El término *cruzado* deriva de la palabra latina *crucialis,* es decir, «cruz».) Estos ligamentos limitan el movimiento anterior y posterior del fémur y mantienen la alineación entre los cóndilos femorales y los tibiales.

Bloqueo de rodilla [v. figura 8.18/tabla 8.5]

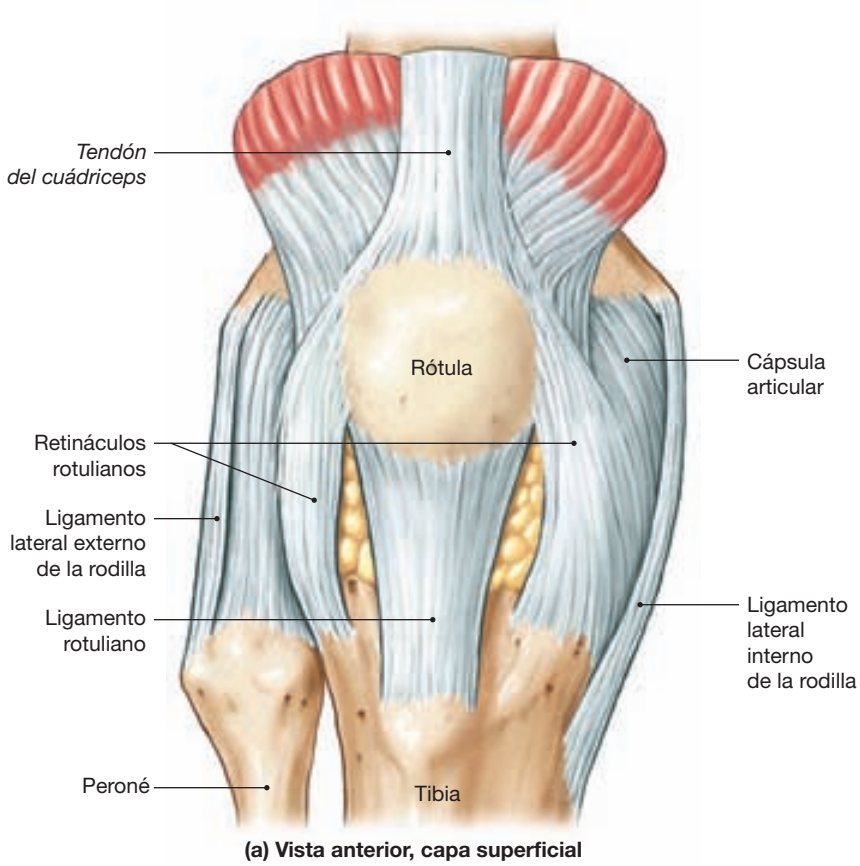
La articulación de la rodilla puede «bloquearse» en su posición extendida. En la extensión completa, una ligera rotación lateral de la tibia tensa el ligamento cruzado anterior e introduce el menisco entre la tibia y el fémur. Este mecanismo permite permanecer de pie durante un período prolongado sin usar (ni agotar) los músculos extensores. El desbloqueo de la rodilla exige una contracción muscular que produzca la rotación medial de la tibia o la rotación lateral del fémur.

La tabla 8.5 resume información concerniente a las articulaciones de la extremidad inferior.

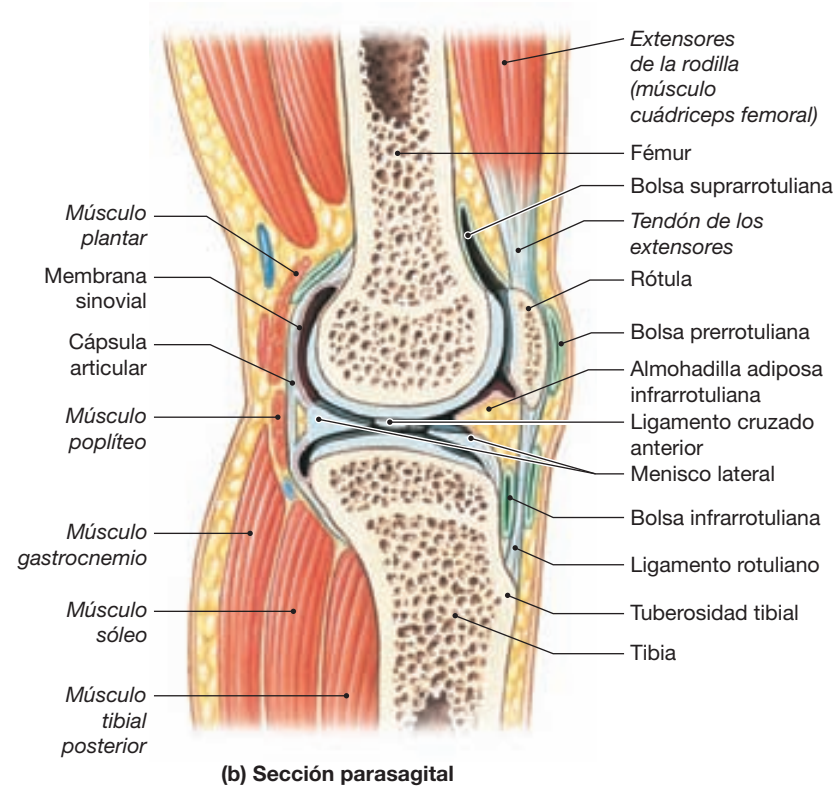
TABLA 8.5 Articulaciones de la cintura pélvica y de la extremidad inferior

Elemento	Articulación	Tipo de articulación	Movimiento
Sacro/huesos coxales	Sacroilíaca	Diartrosis artrodia	Movimiento de deslizamiento
Huesos coxales/huesos coxales	Sínfisis del pubis	Anfiartrosis	Ninguno*
Huesos coxales/fémur	Coxofemoral (cadera)	Diartrosis enartrosis	Flexión/extensión, aducción/abducción, circunducción, rotación
Fémur/tibia	Rodilla	Compleja, funciona como un gínglimo	Flexión/extensión, pequeña rotación
Tibia/peroné	Tibioperonea (proximal) Tibioperonea (distal)	Diartrosis artrodia Diartrosis artrodia y anfiartrosis sindesmosis	Ligero movimiento de deslizamiento Ligero movimiento de deslizamiento
Tibia y peroné con astrágalo	Tobillo o astragalocrural	Diartrosis gínglima	Flexión dorsal/flexión plantar
Hueso del tarso a hueso del tarso	Intertarsiana	Diartrosis artrodia	Ligero movimiento de deslizamiento
Huesos del tarso a huesos metatarsianos	Tarsometatarsiana	Diartrosis artrodia	Ligero movimiento de deslizamiento
Huesos metatarsianos a falanges	Metatarsofalángica	Diartrosis condílea	Flexión/extensión, aducción/abducción
Falange/falange	Interfalángica	Diartrosis gínglima	Flexión/extensión

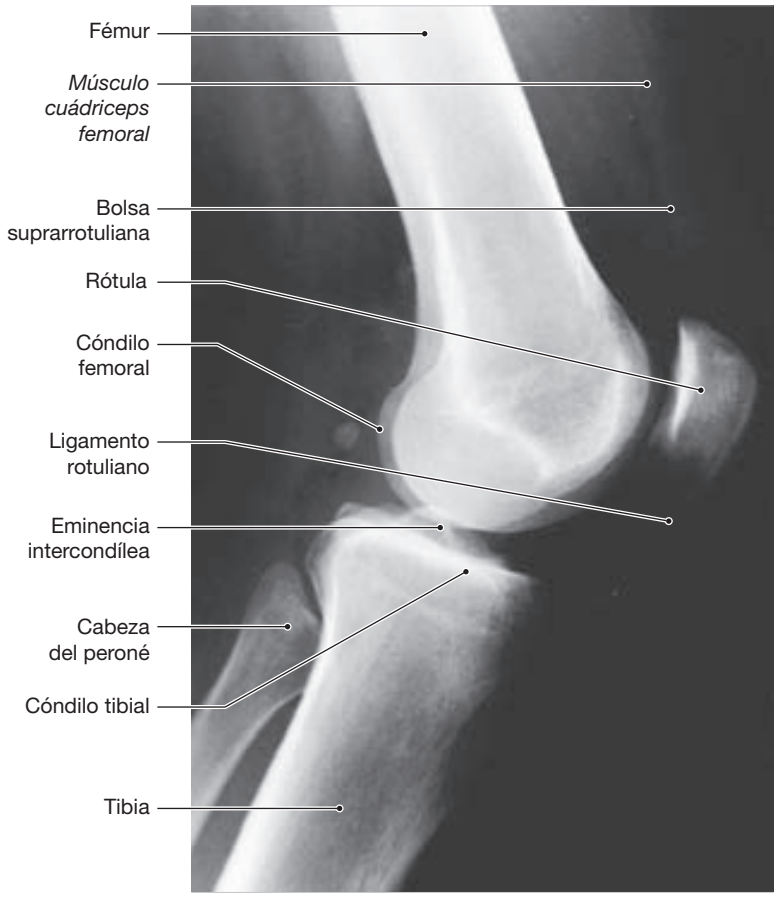
*Durante la gestación, las hormonas debilitan la sínfisis y permiten un movimiento considerable para el parto (v. capítulo 28).



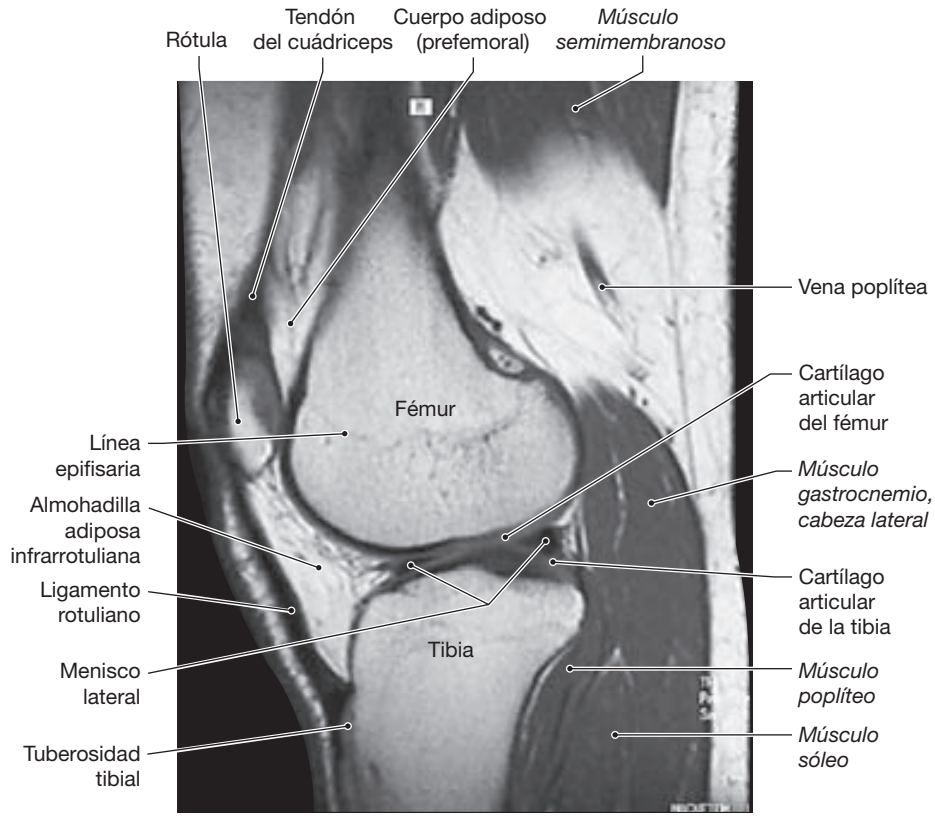
(a) Vista anterior, capa superficial



(b) Sección parasagital



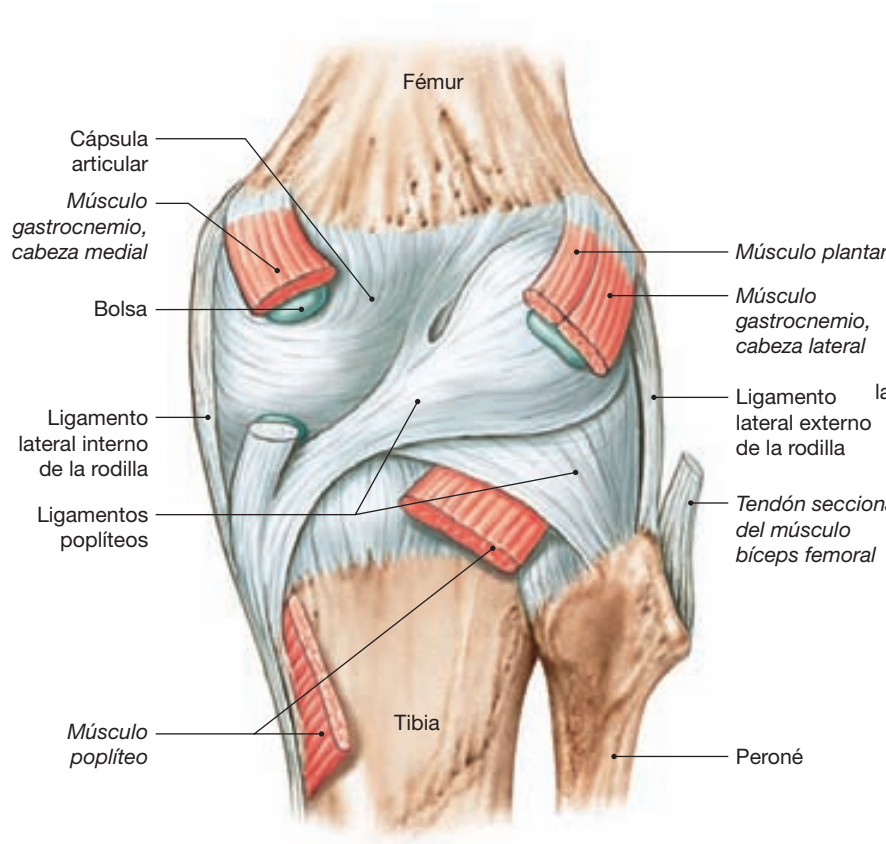
(c) Radiografía, rodilla en flexión parcial



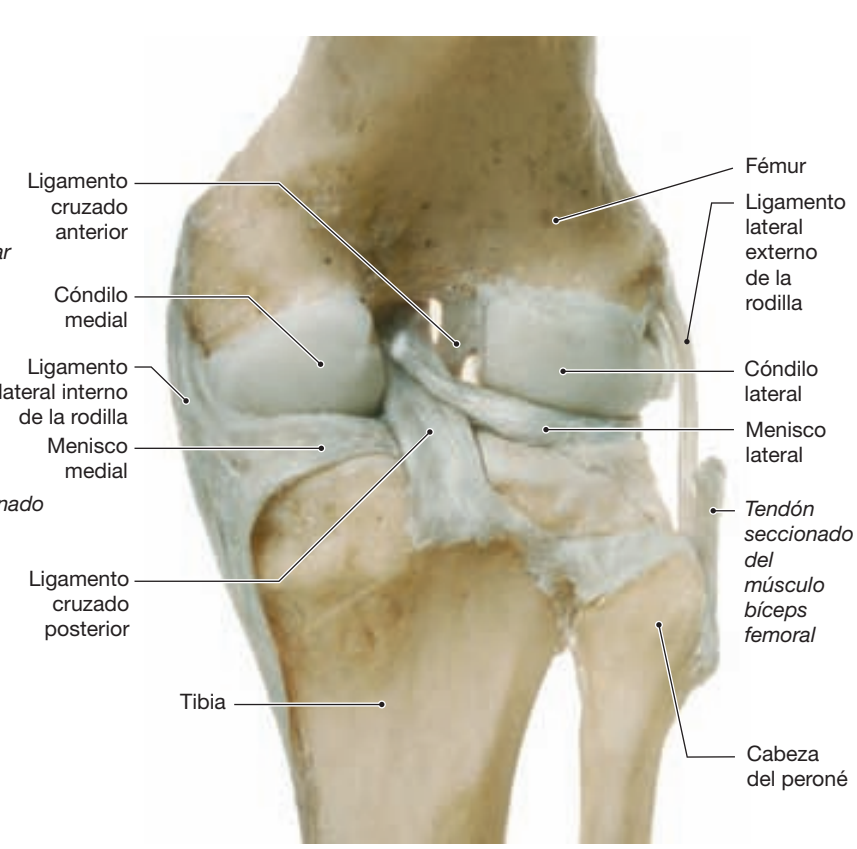
(d) RM de la articulación de la rodilla derecha

Figura 8.17 Articulación de la rodilla, parte I

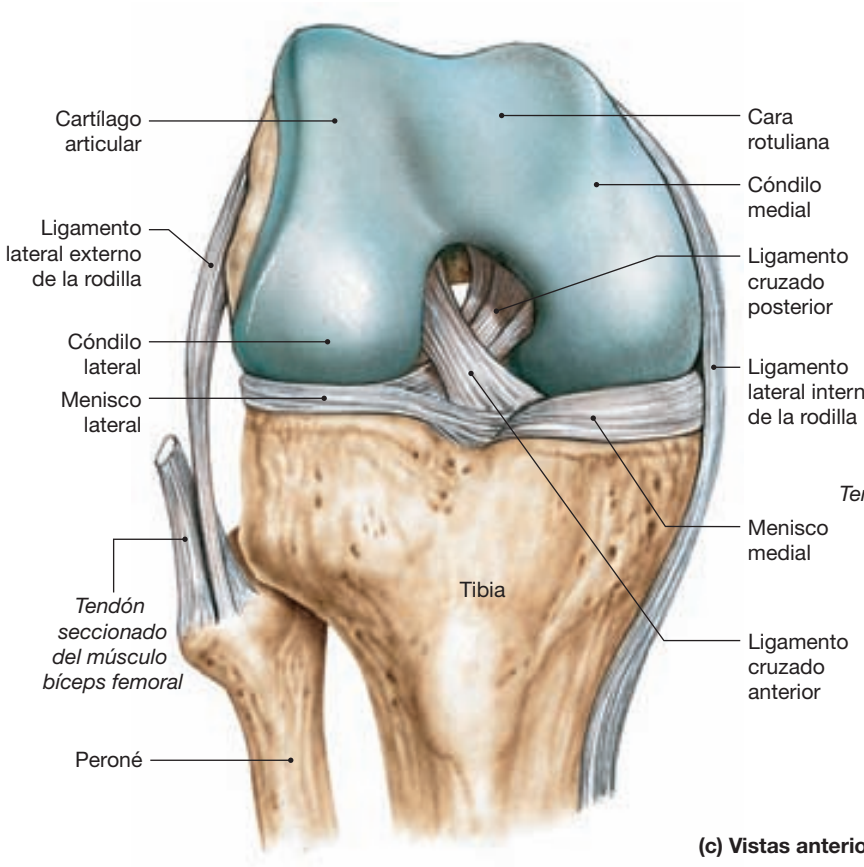
(a) Vista anterior de una disección superficial de la rodilla derecha en extensión. **(b)** Sección esquemática parasagital a través de la rodilla derecha en extensión. **(c)** Radiografía de la articulación de la rodilla derecha en flexión parcial, proyección lateral. **(d)** RM de la articulación de la rodilla derecha, sección parasagital, en una secuencia de lateral a medial.

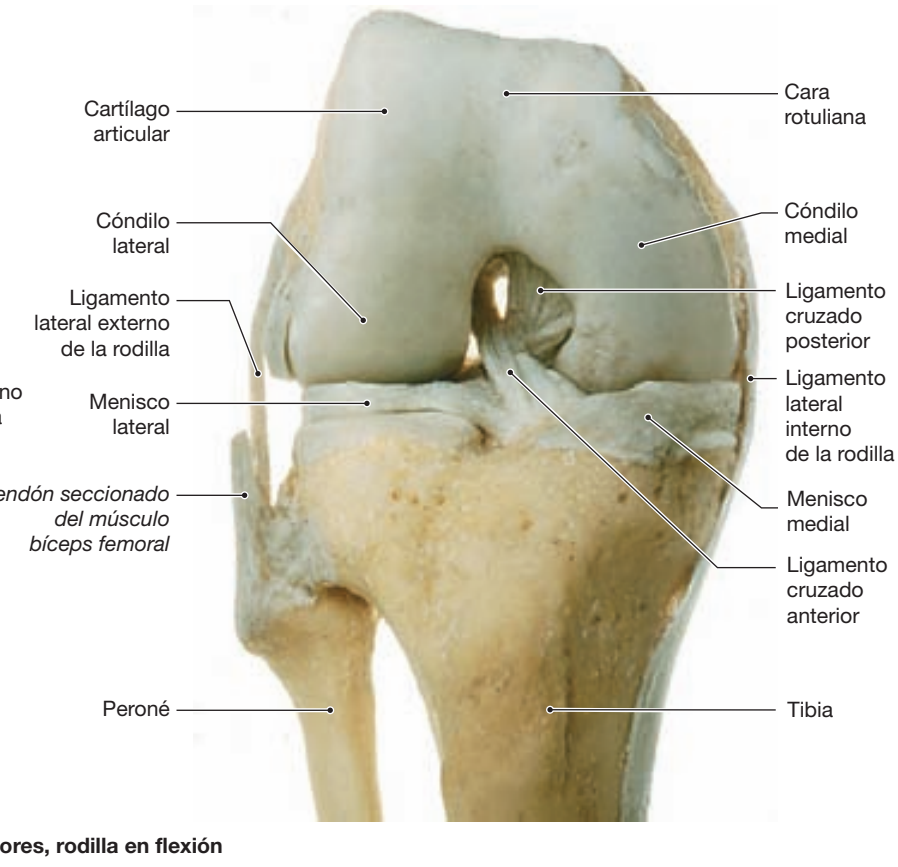


(a) Vista posterior, capa superficial



(b) Vista posterior, capa profunda





(c) Vistas anteriores, rodilla en flexión

Figura 8.18 Articulación de la rodilla, parte II

(a) Vista posterior de una disección de la rodilla derecha en extensión, que muestra los ligamentos de refuerzo para la cápsula. **(b)** Vista posterior de la rodilla derecha en extensión máxima tras retirar la cápsula articular. **(c)** Vistas anteriores de la rodilla derecha en flexión máxima tras retirar la cápsula articular, la rótula y los ligamentos asociados.

Nota clínica

Lesiones de la rodilla Los deportistas sobrecargan la rodilla con tremendos esfuerzos. Generalmente, los meniscos medial y lateral se mueven según cambia la posición del fémur. La aplicación de un gran peso sobre una rodilla en flexión parcial puede aprisionar un menisco entre la tibia y el fémur, y producir una rotura o un desgarro en el cartílago. La lesión más frecuente sucede cuando una fuerza empuja la superficie lateral de la pierna en sentido medial, lo que rasga el menisco medial. Además de ser bastante doloroso, el cartílago desgarrado puede restringir el movimiento de la articulación. También puede dar lugar a problemas crónicos y a la aparición de una «rodilla luxable», es decir, una rodilla en situación inestable. A veces, puede oírse el menisco, además de palparse sus saltos cada vez que entra y sale de su posición al extender la rodilla. Para prevenir tales lesiones, la mayoría de los deportes de competición prohíben las actividades que generan impactos laterales sobre la rodilla, y los atletas que deseen seguir practicando ejercicio con una rodilla alterada pueden utilizar un dispositivo ortopédico que limite los movimientos laterales.

Otro tipo de lesiones en la rodilla consisten en el desgarro de uno o varios de los ligamentos estabilizadores o en la afectación de la rótula. Las roturas ligamentosas pueden ser difíciles de corregir quirúrgicamente, y su cicatrización es lenta. La del ligamento cruzado anterior (LCA) se da con frecuencia en los traumatismos deportivos, y afecta entre dos y ocho veces más a las mujeres que a los hombres. Muchas veces su causa es un giro de la rodilla sobre la que se apoya el peso en extensión. Cabe la posibilidad de efectuar un tratamiento no quirúrgico mediante ejercicio y férulas, pero su aplicación exige modificar los hábitos de actividad. La cirugía reparadora, poniendo parte del tendón rotuliano o un aloinjerto extraído de un tendón de cadáver, da la opción de regresar a la práctica de los deportes activos.

La rótula puede lesionarse de múltiples maneras. Si la pierna está inmovilizada (como podría suceder en las pilas de jugadores que se forman en el fútbol americano), al intentar extender la rodilla, los músculos tienen fuerza suficiente como para separarla. Los impactos recibidos sobre la cara anterior de la rodilla también pueden destrozar la rótula. El tratamiento de una fractura no es fácil y lleva su tiempo. Los fragmentos deben extirparse por vía quirúrgica y reparar los tendones y los ligamentos. A continuación, hay que inmovilizar la articulación. En los jóvenes, casi nunca se lleva a cabo una artroplastia total de la rodilla, pero cada vez es más habitual su realización entre los ancianos con una artrosis grave.

Los médicos suelen evaluar las lesiones de rodilla a través de una *exploración artroscópica.* Por medio de la fibra óptica, el artroscopio ofrece la posibilidad de examinar una articulación sin cirugía mayor. La fibra óptica consiste en unos hilos finos de vidrio o de plástico que conducen la luz. Estos cables pueden doblarse en las curvas, por lo que permiten su introducción en una rodilla o en otra articulación para moverlos, lo que le deja al médico ver los problemas intraarticulares y diagnosticarlos. Al mismo tiempo, es posible efectuar el tratamiento quirúrgico de la articulación por artroscopia. Este método, llamado **cirugía artroscópica,** ha simplificado mucho el tratamiento de la rodilla y de otras lesiones articulares. La **figura 8.19** es una vista artroscópica del interior de una rodilla alterada, que presenta una lesión de menisco. Los trozos pequeños de cartílago pueden extraerse y el menisco recortarse. Por regla general, se evita la **meniscectomía** total, la extirpación del cartílago afectado, pues predispone a que la articulación contraiga una artropatía degenerativa. En el futuro, las nuevas técnicas de cultivo tisular posibilitarán la sustitución del menisco o hasta del cartílago articular.

La artroscopia representa un procedimiento traumático ligado a ciertos riesgos. La resonancia magnética (RM) es un método inocuo, incruento y rentable para ver y examinar los tejidos blandos que rodean a la articulación. Este sistema mejora la precisión en el diagnóstico de las lesiones de rodilla, y reduce la necesidad de efectuar artroscopias con estos fines. También puede servir como medio para guiar al cirujano artroscópico.

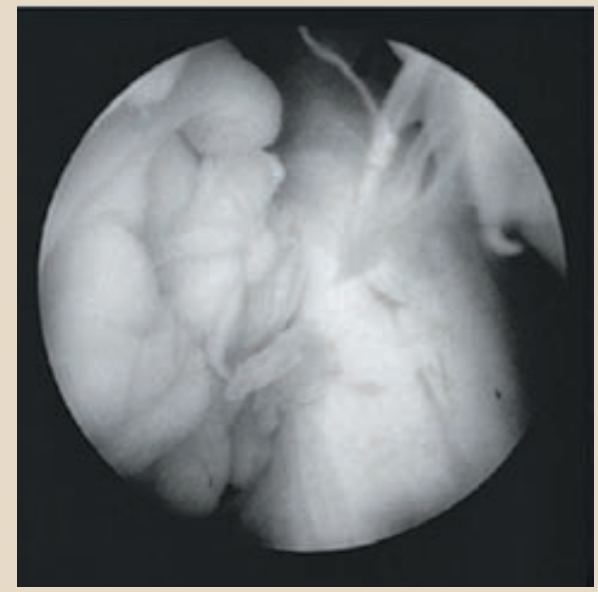


Figura 8.19 Vista artroscópica que muestra el interior de una rodilla dañada, con una lesión de menisco

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Dónde se localizan los siguientes ligamentos: ligamento iliofemoral, ligamento pubofemoral y ligamento isquiofemoral?
2. ¿Qué síntomas cabe esperar en una persona con una lesión meniscal en la articulación de la rodilla?
3. ¿Qué afectación sufre la articulación de la rodilla cuyo ligamento rotuliano esté lesionado?
4. ¿Cómo actúan los ligamentos laterales interno y externo de la rodilla para estabilizar la articulación de la rodilla?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Articulaciones del tobillo y del pie

Articulación del tobillo [v. figuras 8.20/8.21]

La articulación del tobillo, o **articulación astragalocrural,** es un gínglimo formado por las establecidas entre la tibia, el peroné y el astrágalo (**v. figuras 8.20 y 8.21**). Su disposición permite una escasa flexión dorsal (flexión del tobillo) y plantar (extensión del tobillo) [p. 211].

El principal componente para el apoyo del peso en el tobillo es la *articulación tibioastragalina,* que une la superficie articular distal de la tibia con la tróclea del astrágalo. Su funcionamiento normal, contando la amplitud de los movimientos y el soporte del peso, depende de que conserve su estabilidad medial y lateral. Tres articulaciones se encargan de cumplir esta misión: 1) la articulación tibioperonea proximal; 2) la articulación tibioperonea distal, y 3) la articulación peroneoastragalina.

La *articulación tibioperonea proximal* es una artrodia formada entre la superficie posterolateral de la tibia y la cabeza del peroné. La *articulación tibioperonea distal* es una sindesmosis fibrosa entre las caras distales de la tibia y el peroné. La articulación que se da entre el maléolo lateral del peroné y la superficie articular lateral del astrágalo se denomina *articulación peroneoastragalina.* Una serie de ligamentos situados a lo largo de la tibia y del peroné mantienen los huesos en su sitio, y esto restringe el movimiento en las dos articulaciones tibioperoneas y en la articulación peroneoastragalina. La conservación de la amplitud de movimientos apropiada a estos niveles es lo que aporta la estabilidad medial y lateral al tobillo.

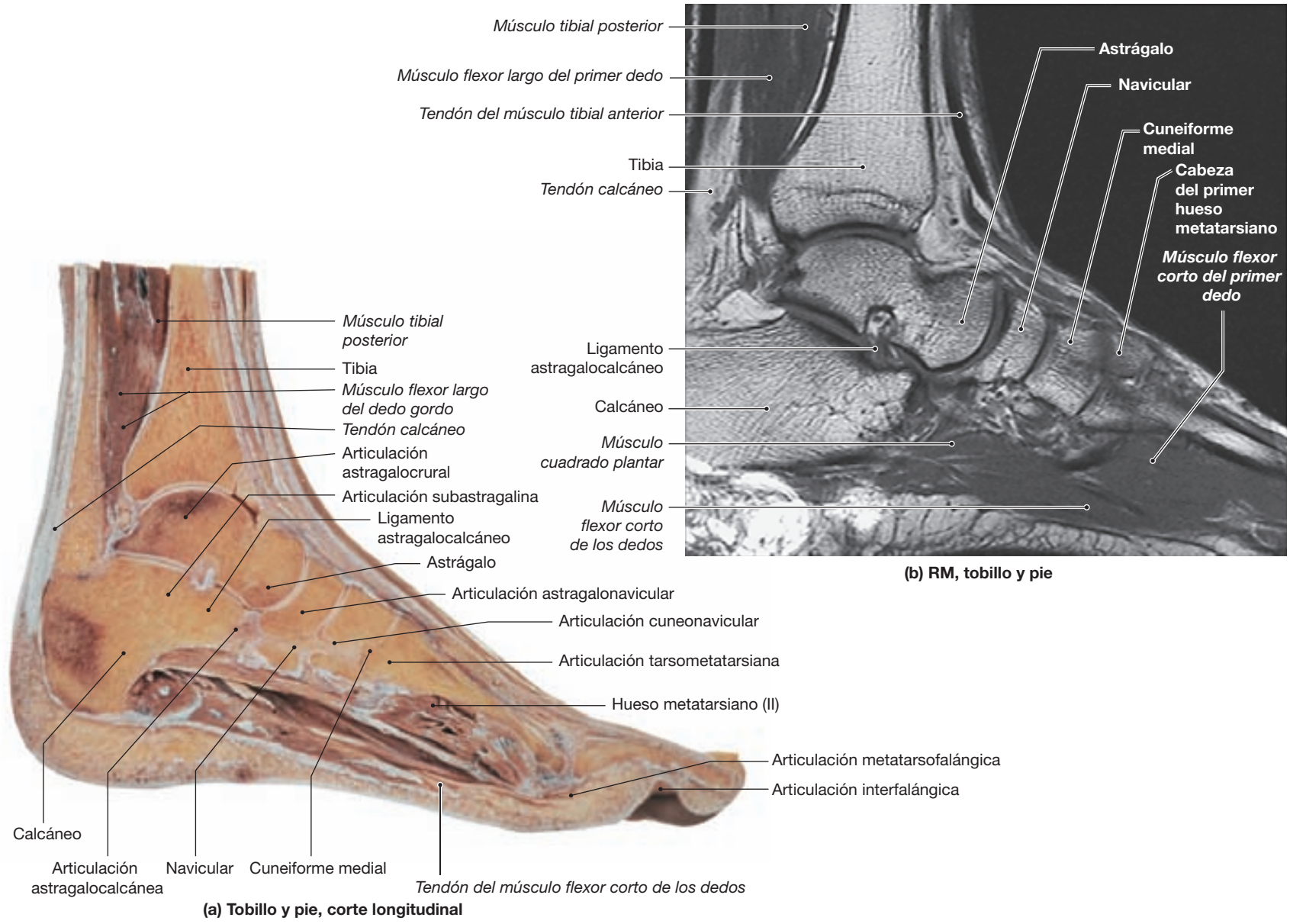


Figura 8.20 Articulaciones del tobillo y del pie, parte I
(a) Corte longitudinal del pie izquierdo, con la identificación de las principales articulaciones y sus estructuras asociadas.
(b) RM correspondiente del tobillo izquierdo y la porción proximal del pie.

La cápsula articular de la articulación del tobillo salta entre la superficie distal de la tibia y su maléolo medial, la del maléolo lateral del peroné y el astrágalo. Tiene una porción anterior y otra posterior delgadas, pero en sus caras lateral y medial es sólida y está reforzada por unos ligamentos robustos representados en la figura 8.21b-d. Los principales son el **ligamento deltoideo** medial y los tres **ligamentos laterales.** Los maléolos, con la ayuda de estos ligamentos y vinculados entre sí mediante los *ligamentos tibioperoneos,* impiden que los huesos del tobillo se deslicen de un lado a otro.

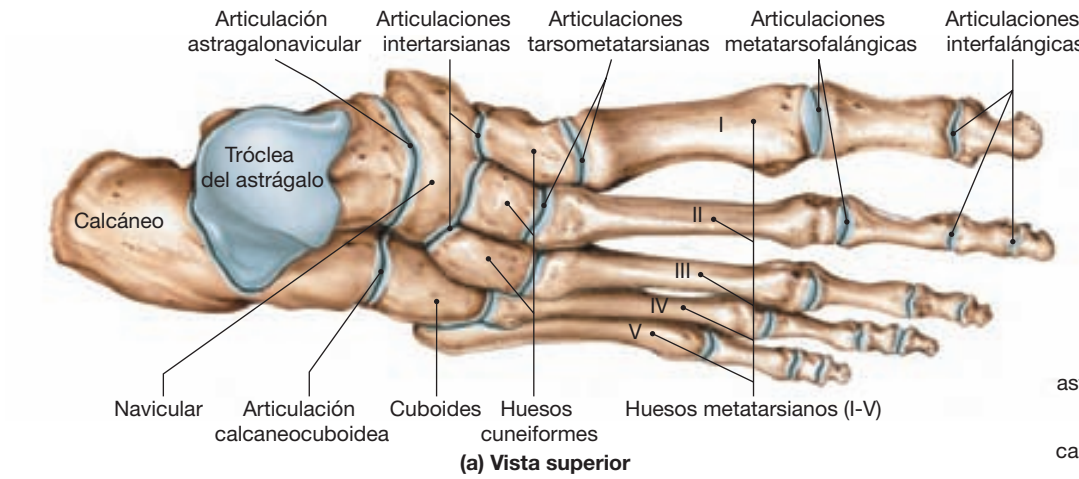
Articulaciones del pie [v. figuras 8.20/8.21]

En el pie hay cuatro grupos de diartrosis (v. figuras 8.20 y 8.21):

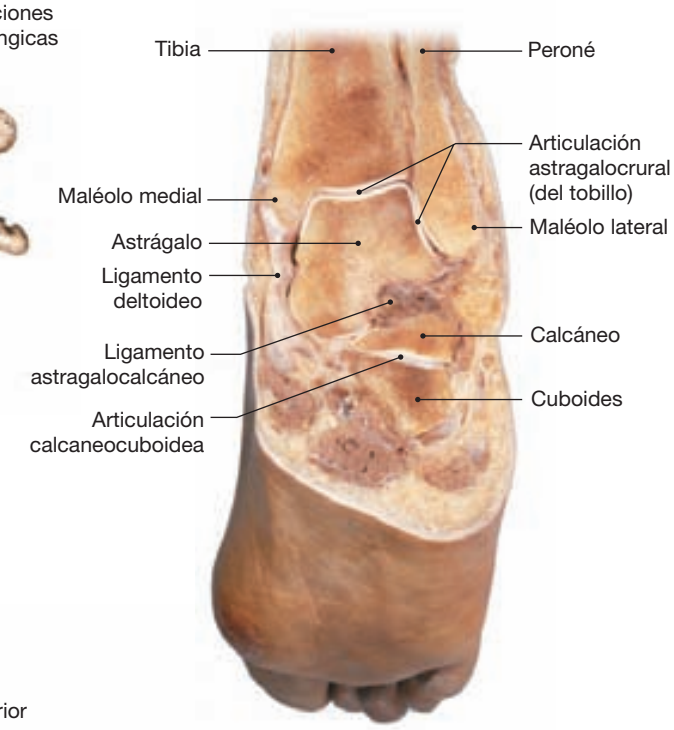
1. Entre un hueso del tarso y otro **(articulaciones intertarsianas).** Son artrodias que permiten pequeños movimientos de deslizamiento y torsión. Estas articulaciones son comparables a las que existen en la muñeca entre los huesos del carpo.
2. Entre un hueso del tarso y un metatarsiano **(articulaciones tarsometatarsianas).** Son artrodias que dejan realizar unos movimientos escasos de deslizamiento y torsión. Los tres primeros huesos metatarsianos se articulan con los huesos cuneiformes medial, intermedio y lateral. El cuarto y el quinto lo hacen con el cuboides.
3. Entre un hueso metatarsiano y una falange **(articulaciones metatarsofalángicas).** Son condíleas que permiten la flexión/extensión y la aducción/abducción. Las articulaciones entre los huesos metatarsianos y las falanges se parecen a las que existen entre los huesos metacarpianos y las falanges de la mano. Dado que la primera articulación metatarsofalángica es una condílea, en vez de una silla de montar como la primera articulación metacarpofalángica de la mano, el dedo gordo carece de la movilidad propia del pulgar. A menudo, surge una pareja de huesos sesamoideos contenidos en los tendones que cruzan la cara inferior de esta articulación, y su presencia restringe aún más el movimiento.
4. Entre una falange y otra **(articulaciones interfalángicas).** Son gínglimos que permiten la flexión y la extensión.

Envejecimiento y articulaciones

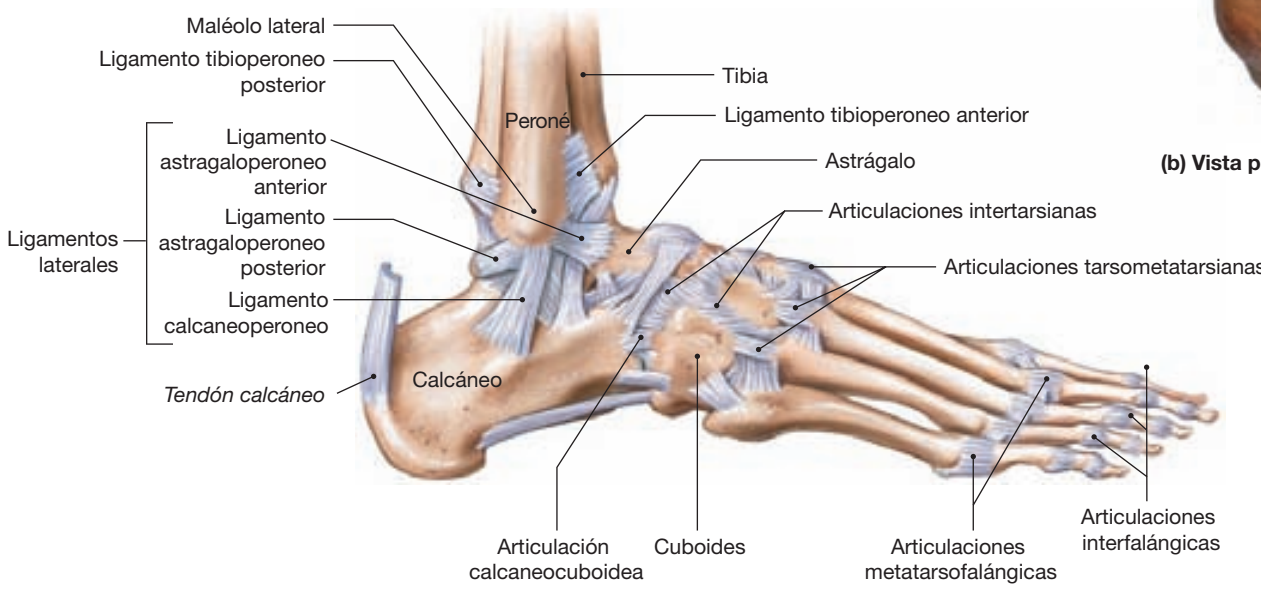
Las articulaciones están sometidas a un intenso desgaste natural a lo largo de toda la vida, y sufren problemas de funcionamiento con relativa frecuencia, sobre todo entre los ancianos. El **reumatismo** es un término general que indica



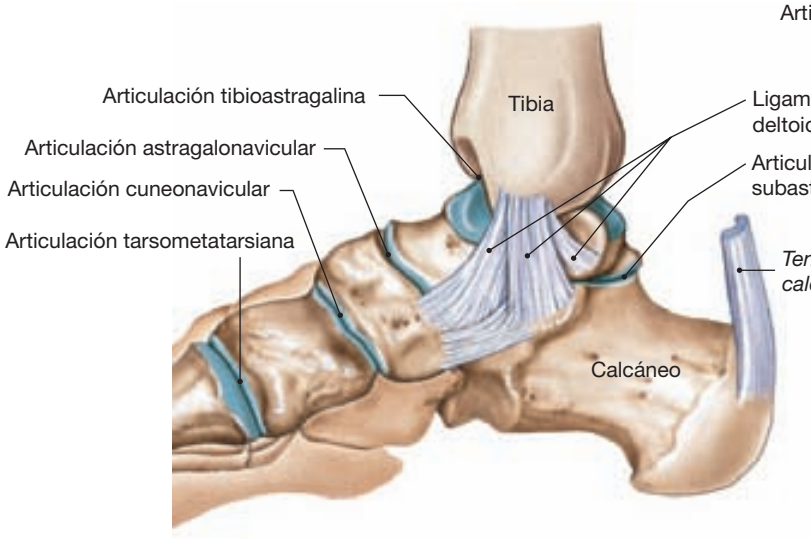
(a) Vista superior



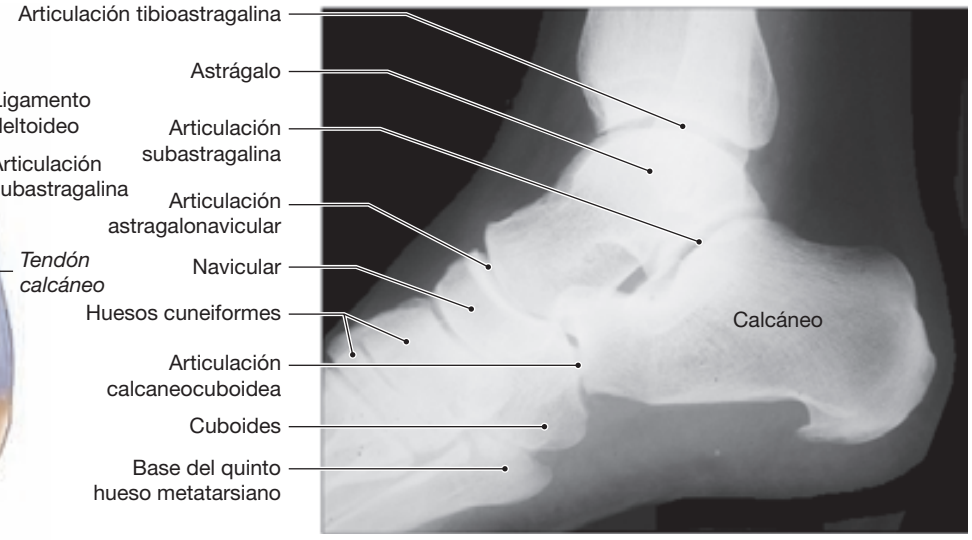
(b) Vista posterior de una sección coronal



(c) Vista lateral



(d) Tobillo derecho, vista medial



(e) Radiografía del tobillo derecho, proyección medial

Figura 8.21 Articulaciones del tobillo y del pie, parte II

(a) Vista superior de los huesos y las articulaciones del pie derecho. **(b)** Vista posterior de una sección coronal que pasa a través del tobillo derecho tras la flexión plantar. Obsérvese la ubicación de los maléolos medial y lateral. **(c)** Vista lateral del pie derecho, con los ligamentos que estabilizan la articulación del tobillo. **(d)** Vista medial del tobillo derecho, con sus ligamentos mediales. **(e)** Radiografía del tobillo derecho, proyección mediolateral.

dolor y rigidez en el sistema óseo, el muscular o en ambos. Existen varias formas básicas. Dentro del **reumatismo articular** se clasifican todas las enfermedades reumáticas que afectan a las articulaciones sinoviales y siempre conllevan la alteración de los cartílagos articulares, aunque su causa concreta pueda variar. Por ejemplo, están las infecciones bacterianas o víricas, los traumatismos articulares, los problemas metabólicos o las sobrecargas físicas intensas.

Con la edad, baja la masa ósea y los huesos se debilitan, por lo que crece el riesgo de fractura. Si además aparece una osteoporosis, los huesos pueden perder solidez hasta el punto de romperse tras aplicar cargas que cualquier hueso normal podría tolerar sin ningún inconveniente. Las fracturas de la cadera figuran entre las más peligrosas observadas en los ancianos. Su presencia, más habitual en las personas mayores de 60 años, puede acompañarse de una luxación de la cadera o de una fractura de la pelvis.

El proceso de curación avanza con gran lentitud, y los potentes músculos que rodean la articulación coxofemoral suelen impedir el alineamiento correcto de los fragmentos óseos. Por regla general, las fracturas del trocánter mayor o menor consolidan bien siempre que pueda estabilizarse la articulación; en ocasiones hace falta recurrir a placas de acero, clavos, tornillos o a alguna combinación de estos dispositivos para conservar la alineación y dejar que la recuperación siga su curso con normalidad.

Aunque las fracturas de cadera son más frecuentes entre los mayores de 60 años, en los últimos tiempos han experimentado un crecimiento espectacular entre deportistas profesionales sanos y jóvenes.

Huesos y músculos

Los sistemas óseo y muscular dependen mutuamente entre sí desde el punto de vista estructural y funcional; sus interacciones son tan amplias que a menudo se les considera parte de un solo *sistema osteomuscular.*

Hay conexiones físicas directas, ya que los tejidos conjuntivos que rodean a cada fibra muscular se continúan con los que constituyen el armazón tisular del hueso al que se insertan. Los músculos y los huesos comparten vínculos fisiológicos, porque las contracciones musculares sólo pueden darse si la concentración extracelular de calcio está dentro de unos límites relativamente estrechos, y la mayoría de sus reservas corporales están almacenadas en el esqueleto. Los tres próximos capítulos estudiarán la estructura y la función del sistema muscular y explicarán cómo las contracciones musculares ejecutan un movimiento específico.

Caso clínico

SISTEMA ÓSEO Y ARTICULACIONES

EL CAMINO HACIA DAYTONA

El circuito NASCAR es uno de los deportes espectáculo que está ganando adeptos a mayor velocidad en EE. UU. Cada semana hay una pista nueva y con ello cambia la estrategia de competición correspondiente. Esto, sumado a la naturaleza «rústica» de los conductores y a la fascinación que en EE. UU. generan los automóviles, ha desembocado en un rápido crecimiento del interés que despierta. El objetivo final de muchos conductores consiste en obtener «una vuelta». Empiezan a correr en el circuito de tierra de su condado local, con la esperanza de subir en el escalafón hasta la *Busch Series* y, por último, la NASCAR. Como los pilotos de los circuitos de tierra no tienen esos patrocinadores con grandes presupuestos que se ven en la *Busch Series* o en la NASCAR, sus coches o sus equipos omiten algunos sistemas de seguridad que son muy caros.

Elliott es un joven corredor que está obteniendo grandes éxitos en el circuito local de automóviles de serie. Lleva una sucesión de 20 pruebas consecutivas acabando entre los cinco primeros puestos en las pistas de tierra de Illinois-Indiana-Wisconsin-Michigan. Esta noche va a pilotar su coche en la *Wisconsin State Fair,* y varios ojeadores de la *Busch Series* estarán entre el público, buscando jóvenes promesas destinadas a cubrir las vacantes de conductores con las que se cuente en el circuito de carreras para el próximo año.

La carrera le está yendo bien; por ahora va el primero y ya llega a la vuelta 45 de las 50 previstas. Cuando sale de la curva 3 y acelera, alcanza con rapidez al coche que ocupa el último lugar en el autódromo. El neumático del tren delantero derecho del número 99 revienta justo delante de él y sale despedido hacia arriba para chocar contra el muro y volver a caer en la zona interior de la pista. Elliott aprieta el freno, pero no logra evitar el impacto. Embiste al otro vehículo por su costado casi a 180 km/h, lo que provoca una brusca desaceleración. El número 12, que iba el segundo, también pisa sus frenos y se empotra detrás del coche de Elliott a algo más de 140 km/h, con lo que el piloto queda atrapado entre ambos vehículos. Cuando el equipo de urgencias llega a auxiliarle, se encuentra inconsciente y hay que sacarlo de su interior.

Después de hacerlo, el personal del equipo de reanimación le pone un collarín cervical; a continuación, le colocan en la camilla y le llevan al hospital instalado en el circuito.

Exploración inicial

La exploración preliminar llevada a cabo en el hospital de la pista señala lo siguiente:

- Elliott está recobrando poco a poco la conciencia y empieza a responder mejor.
- Elliott se queja de visión borrosa y sigue preguntando: «¿Cuándo empieza la carrera?».

El equipo de reanimación decide enviarlo al *St. Mary's Hospital* en Milwaukee.

Exploración de seguimiento

Los médicos del servicio de urgencias comienzan su exploración y anotan lo siguiente:

- Aparte de la leve **conmoción** sufrida por el accidente, la preocupación inmediata de los profesionales encargados del caso es la posibi-

Casoc línico *(cont.)*

(a) Radiografía de una columna cervical normal

(b) Radiografía de la columna cervical de Elliott

Figura 8.22 Radiografía de las vértebras cervicales
(a) Radiografía de las vértebras cervicales normales. **(b)** Radiografía de las vértebras cervicales, que muestra la desaparición de la curvatura normal en esta región, y la presencia de unos espolones óseos alrededor de los agujeros intervertebrales entre C_4 y C_5.

lidad de una lesión cervical. Por tanto, se solicita una serie completa de radiografías de cráneo y de cuello.

- Los resultados de la exploración neurológica sistemática son normales, incluida la evaluación de los **reflejos tendinosos profundos** y las **respuestas cutáneas plantares.**
- Las radiografías cervicales manifiestan una desaparición de la curvatura normal en la región cervical (v. figura 8.22).
- Se advierten signos de ligeros cambios degenerativos en las vértebras cervicales intermedias, con algunos **espolones óseos** en torno a los agujeros intervertebrales que quedan entre C_4 y C_5.
- No se observan fracturas cervicales.
- Tras retirar el collarín cervical, los médicos llevan a cabo la palpación del cuello y lo someten a una manipulación que consiste en su extensión y rotación. Esta parte del reconocimiento pone de manifiesto una rigidez y un dolor considerables. El dolor con la exploración afecta a la zona de las apófisis transversas de C_4 y C_5.

Puntos de interés

Cuando examine la información presentada en el caso descrito, repase el contenido tratado en los capítulos 5 a 8 y determine qué información anatómica le permitirá diagnosticar, mediante los datos aportados, la enfermedad de Elliot.

1. ¿Cuáles son las curvaturas normales de la columna vertebral?
2. ¿Cuáles son las características anatómicas de las vértebras cervicales, con una especial referencia a C_4 y C_5?
3. ¿Qué estructuras pertenecientes a los tejidos blandos aparecerían asociadas a la región cervical de la columna vertebral, y cuáles son sus funciones?
4. ¿Cuáles son las características anatómicas de las articulaciones intervertebrales?

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas indicadas en este capítulo.

1. La columna vertebral presenta cuatro curvas normales. La torácica y la sacra se denominan curvaturas primarias, y la cervical y la lumbar, curvaturas secundarias [pp. 159-160].
2. La forma del cuerpo vertebral, el agujero vertebral, las apófisis espinosas y las apófisis transversas permiten distinguir entre las vértebras cervicales y las pertenecientes a otras regiones de la columna vertebral [pp. 162-166]. Además, las características anatómicas de una vértebra «típica» (C_3 a C_6) son diferentes a las de C_1, C_2 y C_7 [p. 164].
3. Tras el accidente, puede haber daños considerables de los tejidos blandos que están asociadas a la región cervical de la columna vertebral.
4. Las articulaciones entre las apófisis articulares superiores e inferiores de las vértebras cervicales adyacentes pueden haber quedado afectadas por el accidente, así como los discos intervertebrales [pp. 214-215].

Diagnóstico

Elliott recibe el diagnóstico de síndrome cervical debido a una lesión por hiperextensión-hiperflexión (también llamada latigazo) ocasionada por la combinación de una colisión delantera y trasera durante la carrera. A raíz de este traumatismo por latigazo, probablemente sufrió un estiramiento de varios músculos en la región cervical, lo que generó la rigidez de cuello observada. Aparte de la distensión muscular, Elliott podría haberse lastimado algún ligamento asociado a esta zona de la columna vertebral o varios de ellos, como el ligamento longitudinal anterior, el ligamento longitudinal posterior, los ligamentos amarillos o el ligamento interespinoso [p. 215]. La flexión y la extensión brusca e intensísima de la región cervical de la columna vertebral es capaz de haber roto un disco intervertebral a este nivel o más [p. 216]. Los pequeños cambios degenerativos de C_4 y C_5 [pp. 163-164] podrían deberse como mínimo a dos circunstancias:

1. Estas alteraciones serían el resultado de otras lesiones cervicales previas en relación con accidentes anteriores.
2. Muchas veces las vértebras sufren estos cambios como consecuencia del desgaste natural sufrido a una edad avanzada. Sin embargo, como Elliott no tiene más que 25 años, es muy improbable que sea esta la razón de su aparición. ■

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

conmoción: Lesión de un tejido blando, como el encéfalo, a raíz de un golpe o una sacudida violenta.
espolones óseos: Engrosamiento anormal de un hueso, habitualmente como respuesta a un episodio traumático; a menudo, aparece asociado a un dolor generado por el movimiento del hueso o por la presión ejercida sobre la excrecencia.
reflejos tendinosos profundos *(reflejo miotático):* Contracción muscular como respuesta a la acción de una fuerza de estiramiento, que sigue a la estimulación de los propiorreceptores.
respuestas cutáneas plantares: Reacción después de recibir una estimulación, por lo común una caricia realizada sobre la superficie plantar del pie con un trayecto desde el talón hacia la parte anterior. Una respuesta normal sería la flexión de los dedos. Su alteración se denomina signo de Babinski y consiste en la extensión del primer dedo y la abducción del resto.

TÉRMINOS CLÍNICOS

anquilosis: Fusión anormal entre dos huesos articulados, a raíz de un traumatismo y el rozamiento ocasionado en el interior de una articulación.

artritis reumatoide: Reumatismo inflamatorio que afecta más o menos al 2,5% de la población adulta. Su causa es dudosa, aunque se ha propuesto un origen alérgico, bacteriano, vírico y por factores genéticos.

artroscopio: Instrumento que utiliza la fibra óptica para explorar una articulación sin recurrir a la cirugía mayor.

artrosis (*artropatía degenerativa [AD]):* Proceso reumático derivado de: 1) el desgaste natural acumulado de las superficies articulares, o 2) una predisposición genética.

ciática: Consecuencia dolorosa de la compresión sufrida por las raíces del nervio ciático.

cirugía artroscópica: Modificación quirúrgica de una articulación mediante un artroscopio.

conmoción: Lesión de un tejido blando, como el encéfalo, a raíz de un golpe o una sacudida violenta.

espolón óseo: Engrosamiento anormal de un hueso, habitualmente como respuesta a un episodio traumático; a menudo, aparece asociado a un dolor generado por el movimiento del hueso o por la presión ejercida sobre la excrecencia.

hernia discal: Nombre común para designar un trastorno causado por la deformación de un disco intervertebral. Esta distorsión ejerce una presión sobre los nervios espinales, que genera dolor y limita la amplitud de los movimientos.

laminectomía: Extirpación de las láminas vertebrales; puede realizarse para acceder al conducto vertebral y calmar los síntomas de una hernia discal.

luxación: Dislocación; proceso en el que las superficies articulares se ven desalojadas de su posición.

meniscectomía: Extirpación quirúrgica de un menisco alterado.

movimiento pasivo continuo (MPC): Procedimiento terapéutico que consiste en la movilización pasiva de una articulación alterada para estimular la circulación del líquido sinovial. Su objetivo estriba en prevenir la degeneración de los cartílagos articulares.

reflejo tendinoso profundo *(reflejo miotático):* Contracción tónica de los músculos como respuesta a la acción de una fuerza de estiramiento.

respuestas cutáneas plantares *(reflejos cutáneos plantares):* Reacción después de recibir la estimulación táctil de la parte anterior del pie; en condiciones normales, consiste en la flexión plantar de los dedos.

reumatismo: Término general que indica dolor y rigidez en el sistema óseo, muscular o en ambos.

reumatismo articular: Enfermedades reumáticas que afectan a las articulaciones sinoviales. Siempre conllevan la alteración de los cartílagos articulares, pero su causa concreta puede variar. Los procesos artrósicos suelen clasificarse como de naturaleza **degenerativa** o **inflamatoria.**

separación del hombro: Luxación parcial o total de la articulación acromioclavicular.

subluxación: Luxación parcial; desplazamiento de las superficies articulares suficiente para generar molestias, pero cuya lesión física en la articulación es menor que la correspondiente a una luxación total.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 206

1. Las **articulaciones** (junturas) existen en cualquier punto donde interactúen dos huesos. Su funcionamiento depende del diseño anatómico. Pueden permitir las siguientes opciones: 1) ningún tipo de movimiento; 2) un movimiento ligero, o 3) un movimiento amplio.

Clasificación de las articulaciones 206

1. Las tres categorías de las articulaciones están basadas en la amplitud de los movimientos. Las *articulaciones inmóviles* son **sinartrosis,** las *articulaciones de poco movimiento* son **anfiartrosis** y las *articulaciones de libre movimiento* son **diartrosis.** Las articulaciones también pueden clasificarse por su función *(v. tabla 8.1)* o por su estructura *(v. tabla 8.2).*

Sinartrosis (articulaciones fijas) 206

2. En una **sinartrosis,** los bordes óseos se encuentran próximos y pueden estar entrelazados. Como ejemplos suyos figuran la **sutura** entre los huesos del cráneo, la **gonfosis** entre los dientes y los maxilares, la **sincondrosis** entre hueso y cartílago en una lámina epifisaria y la **sinostosis,** donde se fusionan dos huesos y desaparecen los límites entre ellos.

Anfiartrosis (articulaciones con escaso movimiento) 206

3. Las **anfiartrosis** permiten un movimiento muy escaso. Como ejemplos suyos figuran la **sindesmosis,** donde las fibras colágenas unen los huesos de la pierna, y la **sínfisis,** donde los huesos están separados por una almohadilla de cartílago.

Diartrosis (articulaciones de movimiento libre) 206

4. Las **diartrosis,** o **articulaciones sinoviales,** permiten una gran amplitud de movimientos. Estas articulaciones poseen siete características en común: una **cápsula articular, cartílagos articulares,** una **cavidad sinovial** llena de líquido, una **membrana sinovial, ligamentos capsulares auxiliares, nervios sensitivos** y **vasos sanguíneos** que se ocupan de la membrana sinovial. Los cartílagos articulares están lubricados por el **líquido sinovial.** Otras estructuras sinoviales y auxiliares son los **meniscos** o **discos articulares,** las **almohadillas adiposas,** los **tendones,** los **ligamentos,** las **bolsas** y las **vainas tendinosas** *(v. figura 8.1).*
5. Una articulación no puede tener a la vez una gran resistencia y una gran movilidad. Cuanto mayor sea su resistencia, menor será su movilidad, y viceversa.

Forma y función de las articulaciones 208

Descripción de la movilidad dinámica 209

1. Los movimientos posibles de un hueso en una articulación pueden clasificarse como **movimiento lineal** (hacia atrás y hacia adelante), **movimiento angular** (en el que cambia el ángulo formado entre la diáfisis y la superficie articular) y **rotación** (giro de la diáfisis sobre su eje longitudinal) *(v. figura 8.2).*
2. Las articulaciones se describen como **monoaxiales, biaxiales** o **triaxiales** según el número de ejes a lo largo de los cuales permitan el movimiento *(v. figura 8.6).*

Tipos de movimientos 209

3. En el **deslizamiento,** las superficies opuestas de una articulación resbalan una sobre otra *(v. figura 8.2b).*
4. Varios términos importantes describen el movimiento angular: **abducción** (movimiento de alejamiento desde el eje longitudinal del cuerpo), **aducción** (movimiento hacia el eje longitudinal del cuerpo), **flexión** (reducción del ángulo entre los elementos articulados), **extensión** (aumento del ángulo entre los elementos articulados), **hiperextensión** (extensión pasados los límites anatómicos normales, lo que produce una lesión articular) y **circunducción** (tipo especial de movimiento angular que incluye flexión, abducción, extensión y aducción) *(v. figura 8.3).*
5. La descripción de los movimientos rotatorios exige la referencia a una figura en posición anatómica. La **rotación** de la cabeza hacia la izquierda o hacia la derecha se observa al decir «no». Una **rotación medial (interna)** o **lateral (externa)** se da en los movimientos de las extremidades cuando la cara anterior del miembro gira hacia la superficie ventral del cuerpo o al revés. Los huesos del antebrazo permiten la **pronación** (movimiento que hace que la palma mire hacia atrás) y la **supinación** (movimiento que hace que la palma mire hacia adelante) *(v. figura 8.4).*
6. Varios términos especiales se aplican a alguna articulación específica o a un tipo infrecuente de movimiento. Los movimientos del pie abarcan la **eversión** (orientación de la planta hacia fuera) y la **inversión** (orientación de la planta

hacia dentro). El tobillo sufre una **flexión dorsal** (flexión del tobillo, «clavar los tacones») y una **flexión plantar** (extensión del tobillo, «ponerse de puntillas»). La **flexión lateral** aparece cuando la columna vertebral se dobla hacia un lado. La **protracción** entraña desplazar una parte del cuerpo en sentido anterior (hacer sobresalir el maxilar inferior); la **retracción** supone su desplazamiento hacia atrás (tirar de la mandíbula hacia atrás). La **oposición** es el movimiento del pulgar que nos permite agarrar objetos. La **elevación** y la **depresión** tienen lugar cuando desplazamos una estructura en sentido superior o inferior (sucede al abrir y cerrar la boca) *(v. figura 8.5)*.

Clasificación estructural de las diartrosis 212

7. Las **artrodias** permiten un movimiento pequeño, normalmente en un solo plano *(v. figura 8.6 y tabla 8.2)*.
8. Los **gínglimos** y las **trocoides** son articulaciones monoaxiales que permiten un movimiento angular en un solo plano *(v. figura 8.6 y tabla 8.2)*.
9. Las articulaciones biaxiales consisten en las **condíleas (elipsoidales)** y las **articulaciones en silla de montar.** Permiten un movimiento angular en dos planos *(v. figura 8.6 y tabla 8.2)*.
10. Las articulaciones triaxiales, o **enartrosis,** permiten todas las combinaciones posibles de movimientos, incluso la rotación *(v. figura 8.6 y tabla 8.2)*.

Articulaciones más representativas 213

Articulación temporomandibular 214

1. La **articulación temporomandibular (ATM)** está compuesta por la fosa mandibular del hueso temporal y la apófisis condílea de la mandíbula. En su interior, posee una gruesa almohadilla de cartílago fibroso, el disco articular. Sus estructuras de refuerzo abarcan la cápsula densa, el **ligamento temporomandibular,** el **ligamento estilomandibular** y el **ligamento esfenomandibular.** Este gínglimo relativamente holgado deja pequeños grados de deslizamiento y rotación *(v. figura 8.7)*.

Articulaciones intervertebrales 214

2. Las apófisis articulares superiores e inferiores de las vértebras forman artrodias con las de las vértebras contiguas. Los cuerpos constituyen sínfisis. Están separados por **discos intervertebrales** que contienen un centro interno gelatinoso, elástico y blando, el **núcleo pulposo,** y una capa externa de cartílago fibroso, el **anillo fibroso** *(v. figuras 8.8/8.9)*.
3. Numerosos ligamentos mantienen unidos los cuerpos y las apófisis de todas las vértebras *(v. figura 8.8)*.
4. Las articulaciones de la columna vertebral permiten la **flexión** y la **extensión** (anteroposterior), la **flexión lateral** y la **rotación.**
5. Las articulaciones del esqueleto de la cabeza y el tronco se resumen en la *tabla 8.3.*

Articulación esternoclavicular 215

6. La **articulación esternoclavicular** es una artrodia establecida entre el extremo esternal de cada clavícula y el manubrio del esternón. Un disco articular separa las superficies opuestas. La cápsula está reforzada por los **ligamentos esternoclaviculares anterior** y **posterior,** más los **ligamentos interclavicular** y **costoclavicular** *(v. figura 8.10)*.

Articulación del hombro 217

7. El hombro, o **articulación glenohumeral,** formado por la fosa glenoidea y la cabeza del húmero, es una articulación holgada y poco profunda que permite la máxima amplitud de movimientos entre cualquiera de las articulaciones del cuerpo. Se trata de una diartrosis del tipo enartrosis. Para ganar movilidad, se sacrifica su resistencia y su estabilidad. Los ligamentos y los músculos y tendones que la rodean son los que aportan dichas propiedades. El hombro presenta una gran cantidad de **bolsas** que reducen el roce cuando los grandes músculos y tendones cruzan la cápsula articular *(v. figura 8.11)*.

Articulación del codo 219

8. La **articulación del codo** está compuesta por articulaciones entre: 1) el húmero y el cúbito, y 2) el húmero y el radio.
9. El **codo** es un gínglimo que permite la flexión y la extensión. En realidad, son dos articulaciones, una entre el húmero y el cúbito *(articulación humerocubital)* y otra entre el húmero y el radio *(articulación humerorradial)*. Los **ligamentos laterales interno y externo** y el **ligamento anular** contribuyen a estabilizarla *(v. figura 8.12)*.

Articulaciones radiocubitales 219

10. Las *articulaciones radiocubital proximal* y *radiocubital distal* permiten la supinación y la pronación del antebrazo. La cabeza del radio permanece en su sitio por medio del **ligamento anular,** mientras que las superficies articuladas radiocubitales distales lo hacen por una serie de ligamentos radiocubitales y por la membrana interósea del antebrazo *(v. figura 8.13)*.

Articulaciones de la muñeca 219

11. La **articulación de la muñeca** está formada por la **articulación radiocarpiana** y las **articulaciones intercarpianas.** La articulación radiocarpiana es una condílea en la que participan la superficie articular distal del radio y tres huesos proximales del carpo (escafoides, semilunar y piramidal). Permite la flexión/extensión, la aducción/abducción y la circunducción. Una cápsula de tejido conjuntivo y unos ligamentos anchos estabilizan la posición de cada hueso en el carpo. Las articulaciones intercarpianas son artrodias *(v. figura 8.14)*.

Articulaciones de la mano 221

12. En la mano están presentes cinco tipos de diartrosis: 1) entre un hueso del carpo y otro (**articulaciones intercarpianas**), diartrosis artrodia; 2) entre un hueso del carpo y el primer hueso metacarpiano **(articulación carpometacarpiana del pulgar),** diartrosis de articulación en silla de montar, que permite la flexión/extensión, la aducción/abducción, la circunducción y la oposición; 3) entre los huesos del carpo y los metacarpianos II-V **(articulaciones carpometacarpianas),** diartrosis artrodia, que permite una ligera flexión/extensión y aducción/abducción; 4) entre un hueso metacarpiano y una falange **(articulación metacarpofalángica),** diartrosis condílea, que permite la flexión/extensión, la aducción/abducción y la circunducción; y 5) entre una falange y otra **(articulación interfalángica),** diartrosis gínglimo, que permite la flexión/extensión *(v. figura 8.14)*.

Articulación de la cadera 223

13. La **articulación de la cadera** es una enartrosis formada por la unión entre el acetábulo del coxal y la cabeza del fémur. La articulación permite la flexión/extensión, la aducción/abducción, la circunducción y la rotación *(v. figuras 8.15/8.16)*.
14. La cápsula articular de la articulación de la cadera está reforzada y estabilizada por cuatro ligamentos anchos: los **ligamentos iliofemoral, pubofemoral, isquiofemoral** y **transverso del acetábulo.** Otro más, el **ligamento de la cabeza del fémur** *(ligamento redondo)*, también sirve para estabilizar esta articulación *(v. figuras 8.15/8.16)*.

Articulación de la rodilla 225

15. La articulación de la rodilla funciona como un gínglimo, pero es más complicada que los habituales, por ejemplo, el codo. Desde el punto de vista estructural, parecen ser tres articulaciones independientes, entre: 1) los cóndilos mediales del fémur y la tibia; 2) los cóndilos laterales del fémur y la tibia, y 3) la rótula y la superficie rotuliana del fémur. La articulación permite la flexión/extensión y una pequeña rotación *(v. figuras 8.17/8.18/8.19)*.
16. La cápsula articular de la rodilla no es una sola estructura unificada con una cavidad sinovial en común. Contiene: 1) unas **almohadillas de cartílago fibroso,** los **meniscos medial** y **lateral,** y 2) unas **almohadillas adiposas** *(v. figuras 8.17/8.18)*.
17. Siete ligamentos fundamentales unen y estabilizan la articulación de la rodilla: los **ligamentos rotuliano, lateral interno y externo de la rodilla, poplíteos** (dos), y **cruzados anterior** y **posterior (LCA** y **LCP)** *(v. figuras 8.17/8.18)*.

Articulaciones del tobillo y del pie 228

18. La articulación del tobillo, o **articulación astragalocrural,** es un gínglimo formado por la superficie inferior de la tibia, el maléolo lateral del peroné y la tróclea del astrágalo. El principal componente es la articulación tibioastragalina. La tibia y el peroné permanecen unidos por los **ligamentos tibioperoneos anterior** y **posterior.** Mientras estos ligamentos estabilizadores mantienen juntos los huesos, los maléolos medial y lateral pueden impedir el deslizamiento lateral o medial de la tibia sobre la superficie troclear. La articulación del tobillo permite la flexión dorsal/flexión plantar. El **ligamento deltoideo** medial y los tres **ligamentos laterales** estabilizan más la articulación del tobillo *(v. figuras 8.20/8.21)*.
19. En el pie hay cuatro tipos de diartrosis: 1) entre un hueso del tarso y otro (**articulaciones intertarsianas,** cuyo nombre depende de los huesos que participen), diartrosis artrodias; 2) entre un hueso del tarso y un metatarsiano **(articulacio-**

nes tarsometatarsianas), diartrosis artrodias; 3) entre un hueso metatarsiano y una falange **(articulaciones metatarsofalángicas),** diartrosis condíleas, que permiten la flexión/extensión y la aducción/abducción, y 4) entre una falange y otra **(articulaciones interfalángicas),** diartrosis gínglimas, que permiten la flexión/extensión *(v. figuras 8.20/8.21 y tabla 8.5).*

Envejecimiento y articulaciones 229

1. Los problemas de funcionamiento articular son relativamente frecuentes, sobre todo entre los ancianos. El **reumatismo** es un término general que indica dolor y rigidez en el sistema óseo, muscular o en ambos; existen varias formas básicas. Dentro del **reumatismo articular** quedan englobadas todas las enfermedades reumáticas que afectan a las articulaciones sinoviales. Estos procesos se vuelven más frecuentes con la edad.

Huesos y músculos 231

1. Los sistemas óseo y muscular dependen mutuamente entre sí desde el punto de vista estructural y funcional, y constituyen el *sistema osteomuscular.*

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___1. sin movimiento	a. articulación de la muñeca
___2. sinovial	b. flexión dorsal
___3. ángulo mayor	c. sacos llenos de líquido
___4. bolsas	d. diartrosis
___5. orientación anterior de la palma	e. rodilla
___6. clavar los tacones	f. discos intervertebrales
___7. cartílago fibroso	g. supinación
___8. carpo	h. extensión
___9. meniscos	i. sinartrosis

10. La función de una bolsa consiste en:
    (a) reducir el roce entre un hueso y un tendón
    (b) absorber los golpes
    (c) alisar el contorno superficial de una articulación
    (d) b y c son correctas

11. Todas las afirmaciones siguientes son verdaderas sobre la capacidad de movimiento de las articulaciones, excepto:
    (a) una estabilidad mayor resta movilidad
    (b) la forma de las superficies articuladas puede encauzarlas o restringirlas a ciertas direcciones
    (c) pueden modificarse por la presencia de ligamentos auxiliares y fibras colágenas de la cápsula articular
    (d) la resistencia de la articulación queda determinada por la resistencia de los músculos que se insertan en ella y en su cápsula articular

12. ¿Cuál de las siguientes funciones no la cumple el líquido sinovial?
    (a) absorber los golpes
    (b) elevar la presión osmótica en el interior de la articulación
    (c) lubricar la articulación
    (d) aportar nutrientes

13. Una articulación cuyas superficies articulares puedan deslizarse en cualquier dirección se denomina:
    (a) uniaxial (b) biaxial
    (c) multiaxial (d) monoaxial

14. ¿Cuál de los siguientes ligamentos no está asociado a la articulación de la cadera?
    (a) ligamento iliofemoral
    (b) ligamento pubofemoral
    (c) ligamento de la cabeza del fémur
    (d) ligamento amarillo

15. La parte posterior de la articulación de la rodilla está reforzada por:
    (a) los ligamentos laterales internos de la rodilla
    (b) los ligamentos poplíteos
    (c) el ligamento cruzado posterior
    (d) los ligamentos rotulianos

16. La articulación del hombro está primordialmente estabilizada por:
    (a) los ligamentos y los músculos que mueven el húmero
    (b) la escápula
    (c) únicamente los ligamentos glenohumerales
    (d) la clavícula

17. Un movimiento de torsión del pie que gire la planta hacia dentro es una:
    (a) flexión dorsal
    (b) eversión
    (c) inversión
    (d) protracción

18. ¿Cuál de las siguientes parejas es correcta entre las estructuras de la articulación del codo?
    (a) epicóndilo lateral, tuberosidad radial
    (b) capítulo del húmero, cabeza del radio
    (c) ligamento lateral interno, epicóndilo medial
    (d) olécranon, escotadura radial

19. Las luxaciones duelen debido a la estimulación de los receptores para el dolor presentes en todos los lugares siguientes excepto:
    (a) el interior de la cavidad articular
    (b) la cápsula
    (c) los ligamentos que rodean a la articulación
    (d) los tendones que rodean a la articulación

20. Los ligamentos que limitan el movimiento anteroposterior del fémur y mantienen la alineación entre los cóndilos femorales y tibiales son los:
    (a) ligamentos cruzados
    (b) ligamentos laterales externos de la rodilla
    (c) ligamentos rotulianos
    (d) ligamentos laterales internos de la rodilla

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Cuando un lanzador de béisbol «toma impulso» antes de realizar su maniobra, aprovecha la capacidad de la articulación del hombro para llevar a cabo una:
   (a) rotación
   (b) protracción
   (c) extensión
   (d) supinación

2. Compare y confronte la resistencia y la estabilidad de una articulación respecto a su grado de movilidad.

3. ¿Cómo varía la catalogación de una articulación cuando una epífisis se fusiona en el extremo de un hueso largo?

4. ¿Cómo actúan los maléolos de la tibia y el peroné para mantener la articulación tibioastragalina en su posición correcta?

5. ¿Qué diferencias tienen los cartílagos articulares respecto a otros cartílagos del organismo?

6. ¿Qué factores son los responsables de limitar la amplitud de los movimientos en una diartrosis móvil?

7. ¿Qué misión desempeñan los ligamentos capsulares en una diartrosis compleja? Utilice la articulación humerocubital para explicar su respuesta.

8. ¿Cuál es el mecanismo más frecuente que mantiene unidas las articulaciones inmóviles, como las suturas craneales y las gonfosis, sujetando los dientes dentro de los alvéolos?

9. ¿Cómo puede distinguirse la pronación de la circunducción en cualquier elemento del esqueleto?

10. ¿Qué le diría a su abuelo acerca del descenso de su estatura al hacerse mayor?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Cuando una persona que tenga un accidente de tráfico sufre un «latigazo», ¿qué estructuras se han visto afectadas y qué movimientos podrían ser los responsables de esta lesión?

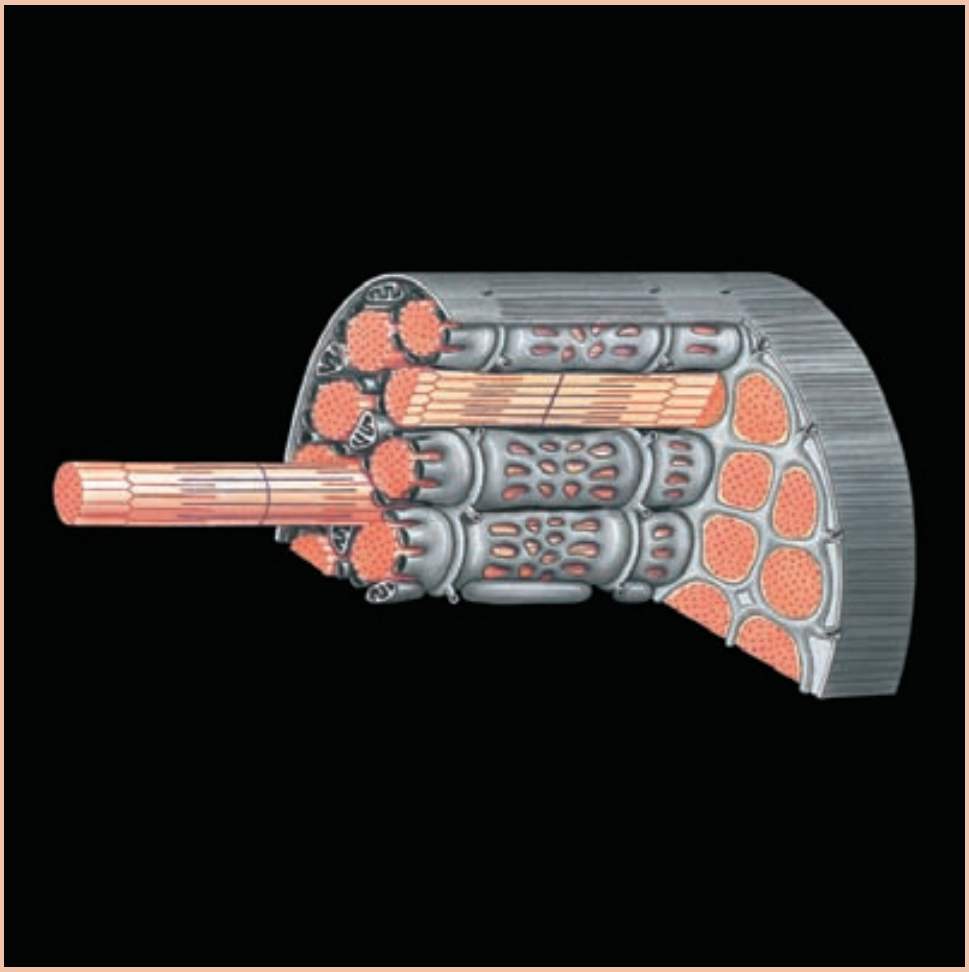
2. Una corredora de maratón pisa la raíz de un árbol que estaba al aire, y se retuerce el tobillo. Después de explorarla, se le anuncia que ha sufrido un grave esguince, sin rotura. El tobillo probablemente tardará más tiempo en restablecerse que un hueso fracturado. ¿Qué estructuras tenía dañadas, y por qué necesitarían un plazo tan largo para curar?

3. Casi todas las lesiones de rodilla producidas en el fútbol americano suceden cuando el jugador tiene la articulación «plantada», en vez de flexionada. ¿Qué circunstancias anatómicas lo explicarían?

9

Sistema muscular

Tejido muscular estriado y organización muscular



Introducción 238

Funciones del músculo estriado 238

Anatomía de los músculos estriados 238

Contracción muscular 245

Unidades motoras y control muscular 248

Tipos de fibras musculares estriadas 249

Organización de las fibras musculares estriadas 251

Terminología de los músculos 253

Palancas y poleas: un diseño de sistemas para el movimiento 254

Envejecimiento y sistema muscular 256

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las características distintivas del tejido muscular.
2. Enunciar las funciones del tejido muscular estriado.
3. Analizar la organización de los tejidos conjuntivos, la irrigación y la inervación del músculo estriado.
4. Explicar la disposición del retículo sarcoplásmico, los túbulos transversales, las miofibrillas y los miofilamentos, así como la organización del sarcómero en las fibras musculares estriadas.
5. Examinar la actuación del retículo sarcoplásmico y los túbulos transversales en la contracción.
6. Exponer la estructura de la sinapsis neuromuscular y resumir los fenómenos que suceden en la unión.
7. Sintetizar el proceso de la contracción muscular.
8. Describir una unidad motora y el control sobre las fibras musculares.
9. Señalar la relación entre la distribución de los diversos tipos de fibras musculares estriadas y el funcionamiento muscular.
10. Estudiar la disposición de los fascículos en los diversos tipos de músculos y explicar las diferencias funcionales resultantes.
11. Predecir las acciones de un músculo a partir de su origen y su inserción.
12. Explicar cómo pueden interactuar los músculos entre sí para producir un movimiento u oponerse a su realización.
13. Emplear el nombre de un músculo como medio para identificar y recordar su orientación, sus rasgos atípicos, su localización, su aspecto y su función.
14. Describir la relación que guardan los músculos con los huesos, las distintas clases de palancas, y las poleas anatómicas, y examinar cómo potencian la eficiencia muscular.
15. Analizar los efectos del ejercicio y el envejecimiento sobre el músculo estriado.

No resulta fácil imaginar cómo sería la vida si no hubiera tejido muscular. En estas condiciones, no seríamos capaces de sentarnos, ni de levantarnos, caminar, hablar o coger objetos. La sangre no circularía, pues no habría latidos cardíacos para impulsarla a través de los vasos. Los pulmones tampoco podrían vaciarse y llenarse rítmicamente, ni la comida avanzar por el tubo digestivo. En realidad, prácticamente no habría ningún movimiento a lo largo de ninguna de las vías internas de conducción.

Esto no quiere decir que toda vida dependa del tejido muscular. Hay grandes organismos que se arreglan muy bien sin necesidad de él, las denominadas plantas. Pero tal como *nosotros* la vivimos, la vida sí sería imposible, pues muchos de nuestros procesos fisiológicos, y casi todas nuestras interacciones dinámicas con el medio, echan mano del tejido muscular. Este tejido, uno de los cuatro tipos tisulares primarios, consta principalmente de *fibras musculares* –unas células alargadas, capaces de contraerse cada una de ellas a lo largo de su eje longitudinal–. El tejido muscular también abarca las fibras de tejido conjuntivo que sirven para encauzar estas contracciones con el fin de ejecutar un trabajo útil. Existen tres tipos de tejido muscular: *músculo estriado*, músculo cardíaco* y *músculo liso* [p. 75].

La misión básica del tejido **muscular estriado** consiste en mover el cuerpo al tirar de los huesos que constituyen el esqueleto, lo que nos permite caminar, bailar o tocar un instrumento musical. El tejido **muscular cardíaco** impulsa la sangre a través de las arterias y las venas del aparato circulatorio; los tejidos **musculares lisos** empujan los líquidos y los sólidos a lo largo del tubo digestivo y cumplen diversas funciones en otros sistemas. Estos tejidos musculares comparten entre sí cuatro propiedades básicas:

1. *Excitabilidad:* capacidad de responder a una estimulación. Por ejemplo, los músculos estriados habitualmente responden a la estimulación del sistema nervioso y algunos músculos lisos también lo hacen a las hormonas circulantes.
2. *Contractilidad:* capacidad de acortarse activamente y ejercer una fuerza o una tensión que los tejidos conjuntivos puedan canalizar.
3. *Extensibilidad:* capacidad de seguir contrayéndose dentro de sus límites de longitud en reposo. Por ejemplo, un miocito liso puede alcanzar varias veces su extensión inicial y todavía contraerse más al recibir un estímulo.
4. *Elasticidad:* capacidad de un músculo de recuperar sus dimensiones primitivas tras una contracción.

Este capítulo se centra en el tejido muscular estriado. El tejido muscular cardíaco se tratará en el capítulo 21, dedicado a la anatomía del corazón, y el tejido muscular liso en el capítulo 25, con nuestra exposición sobre el aparato digestivo.

Los *músculos estriados* son órganos que contienen los cuatro tipos básicos de tejidos, pero que sobre todo constan de tejido muscular estriado. El **sistema muscular** del cuerpo humano está integrado por más de 700 músculos estriados y comprende todos aquellos que pueden someterse a un control voluntario. Este sistema será el núcleo fundamental de los tres próximos capítulos. El primero analiza la función, la anatomía macroscópica, la microanatomía y la organización de los músculos estriados, así como la terminología empleada para nombrarlos. El capítulo 10 estudia la anatomía macroscópica de la musculatura de la cabeza y el tronco, es decir, los músculos estriados asociados al esqueleto de estas regiones; el capítulo 11 examina la anatomía macroscópica de la musculatura de las extremidades, es decir, los músculos estriados asociados a su esqueleto.

Funciones del músculo estriado

Los **músculos estriados** son órganos contráctiles que mantienen una unión directa o indirecta con los huesos del esqueleto. Estos músculos cumplen las funciones siguientes:

1. *Movimiento del esqueleto:* las contracciones musculares tiran de los tendones y movilizan los huesos del esqueleto. Sus efectos varían desde cualquier desplazamiento sencillo, como la extensión del brazo, hasta alguna acción tremendamente coordinada, como la práctica de la natación, el esquí o la mecanografía.
2. *Conservación de la postura y la posición del cuerpo:* la contracción de unos músculos concretos también sirve para mantener la postura corporal; por ejemplo, sostener la cabeza quieta mientras se lee un libro o aguantar en equilibrio el peso del cuerpo por encima de los pies durante la marcha supone la acción de los músculos que estabilizan las articulaciones. Sin una contracción muscular constante, no podríamos sentarnos rectos sin desplomarnos, ni permanecer de pie sin perder el equilibrio.
3. *Sostén de los tejidos blandos:* la pared abdominal y el suelo de la cavidad pélvica están formados por capas de músculo estriado. Estos músculos sujetan el peso de las vísceras y evitan lesiones de los tejidos internos.
4. *Regulación de la entrada y la salida de sustancias:* las aberturas, u **orificios,** del tubo digestivo y las vías urinarias están rodeadas por músculos estriados. Estos músculos ofrecen un control voluntario sobre la deglución, la defecación y la micción.
5. *Mantenimiento de la temperatura corporal:* las contracciones musculares requieren energía y su consumo en el cuerpo siempre conlleva la transformación de una parte en calor. El calor disipado por los músculos en contracción conserva la temperatura corporal dentro de los límites necesarios para su funcionamiento normal.

Anatomía de los músculos estriados

Para ponerle nombre a los distintos rasgos estructurales de los músculos y de sus componentes, los anatomistas habitualmente utilizaron las palabras griegas *sarkos* («carne») y *mys* («músculo»). Habría que tener presentes estas raíces a lo largo de la exposición. En primer lugar, estudiaremos la anatomía macroscópica del músculo estriado y a continuación describiremos la microestructura que hace posible la contracción.

Anatomía macroscópica [v. figura 9.1]

La figura 9.1 representa el aspecto y organización de un músculo estriado típico. Nuestro estudio sobre la anatomía macroscópica del músculo va a comenzar con una descripción de los tejidos conjuntivos que unen los músculos estriados entre sí y los fijan a otras estructuras.

Tejido conjuntivo del músculo [v. figura 9.1]

Cada músculo estriado posee tres capas concéntricas o envolturas de tejido conjuntivo: un *epimisio* externo, un *perimisio* central y un *endomisio* interno (v. figura 9.1).

- El **epimisio** (*epi,* sobre + *mys,* músculo) es una capa de tejido conjuntivo denso irregular que rodea a todo el músculo estriado. Este estrato separa el músculo de los tejidos y órganos a su alrededor, y está conectado a la *fascia profunda* [p. 74].
- Las fibras de tejido conjuntivo del **perimisio** (*peri-,* alrededor) dividen el músculo en una serie de compartimentos internos, cada uno de los cuales comprende un haz de fibras musculares llamado **fascículo** (*fasciculus,* haz). Aparte de las fibras colágenas y elásticas, el perimisio contiene numerosos vasos sanguíneos y nervios que se ramifican para encargarse de cada fascículo independiente.
- El **endomisio** (*endo,* dentro + *mys,* músculo) rodea a cada fibra muscular estriada, la une con la adyacente y conduce los capilares que irrigan cada fibra en particular. Su estructura consta de una delicada red de fibras reticulares. Entre el endomisio y las fibras musculares están dispersas las **células miosatélite,** que actúan en la reparación del tejido muscular alterado.

Tendones y aponeurosis Las fibras del tejido conjuntivo pertenecientes al endomisio y el perimisio se encuentran entrelazadas entre sí, y estas últimas se mezclan con el epimisio. En cada uno de los extremos musculares, las fibras colágenas del epimisio, el perimisio y el endomisio suelen converger para formar un **tendón** fibroso que fija el músculo al hueso, a la piel o a otro músculo.

*La *Terminologia Histologica: International Terms for Human Cytology and Histology* (TH, © 2007) divide esta categoría en músculo estriado esquelético y músculo estriado visceral no cardíaco.

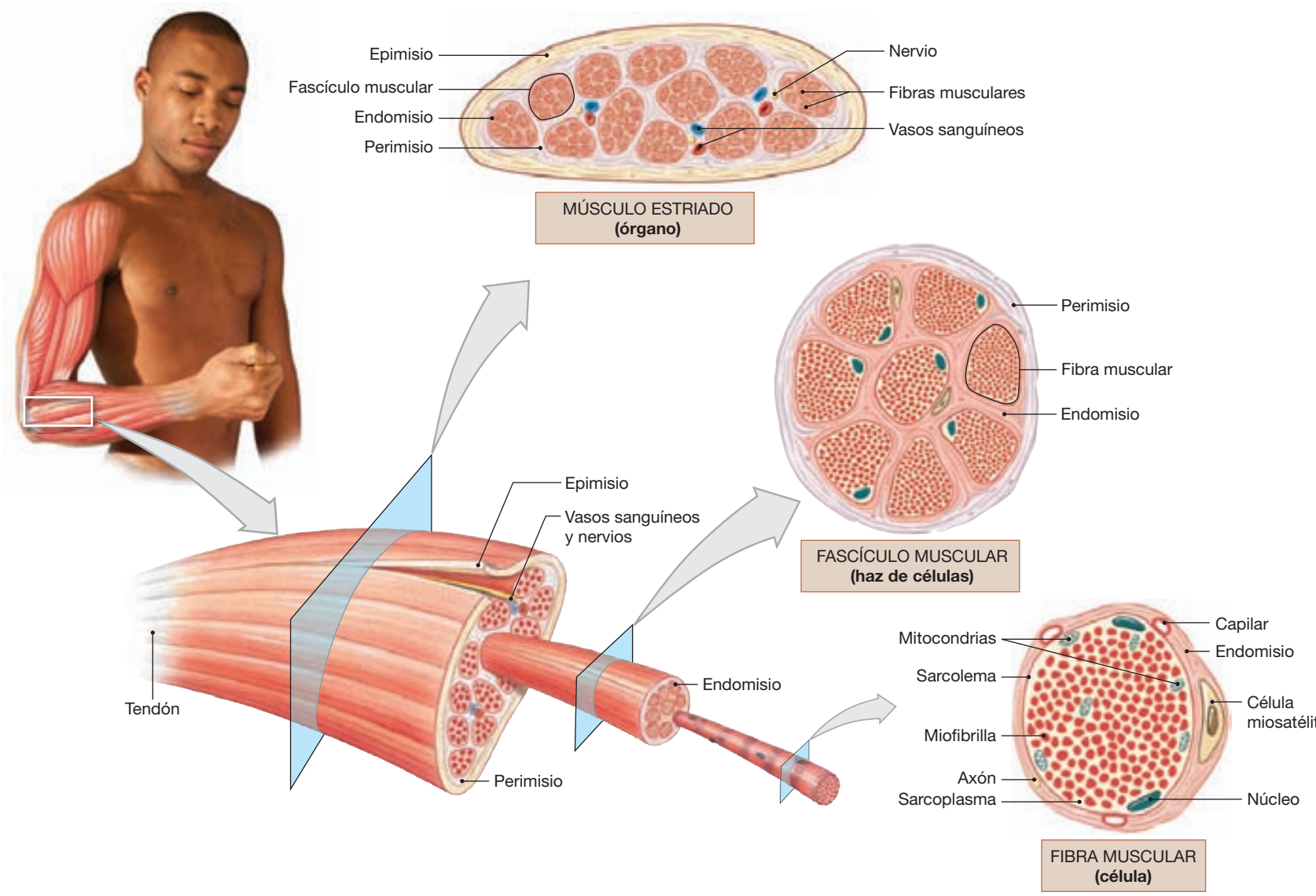


Figura 9.1 Organización estructural del músculo estriado
Un músculo estriado consta de haces de fibras musculares (fascículos) encerrados por una vaina de tejido conjuntivo, el epimisio. A continuación, cada fascículo queda envuelto por el perimisio, y en cada uno de ellos las fibras musculares independientes están rodeadas por el endomisio. Cada fibra muscular posee numerosos núcleos, así como mitocondrias y otros orgánulos recogidos aquí y en la *figura 9.3*.

Los tendones suelen tener el aspecto de un grueso cordón o un cable. Si constituyen una hoja aplanada y espesa, reciben el nombre de **aponeurosis.** Las características estructurales de los tendones y las aponeurosis se estudiaron en el capítulo 3 [pp. 65-68].

Las fibras tendinosas quedan ensambladas con el periostio y la matriz del hueso asociado. Esta malla crea un vínculo potentísimo y cualquier contracción muscular ejerce una tracción sobre el hueso en el que se inserta.

Nervios y vasos sanguíneos [v. figura 9.2]

Los tejidos conjuntivos del epimisio, el perimisio y el endomisio llevan los nervios y los vasos sanguíneos que abastecen a las fibras musculares. Los músculos estriados muchas veces reciben el nombre de *músculos voluntarios* porque sus contracciones pueden someterse a un control consciente. Este control corresponde al sistema nervioso. Los nervios, que están constituidos por haces de axones, llegan al epimisio, se ramifican a través del perimisio y penetran en el endomisio para inervar cada fibra muscular por separado. La comunicación química entablada entre el terminal sináptico de una neurona y una fibra muscular estriada ocurre en un lugar llamado **sinapsis neuromuscular,** o *unión neuromuscular*. En la figura 9.2 se ofrecen varios ejemplos. Cada fibra muscular tiene una sinapsis neuromuscular, normalmente en un punto equidistante a lo largo de su extensión. En ella, el terminal sináptico de la neurona se encuentra ligado a la *placa motora* de la fibra muscular estriada. Esta placa es una región especializada de la membrana del miocito en el interior de una sinapsis neuromuscular (un apartado posterior estará dedicado a la estructura de la placa motora y su cometido en la comunicación nervio-músculo).

La contracción muscular requiere una tremenda cantidad de energía, por lo que existe un abundante riego vascular que lleva el oxígeno y los nutrientes necesarios para la producción de ATP en los músculos estriados activos. Estos vasos sanguíneos suelen entrar en el músculo unidos a los nervios correspondientes, y vasos y nervios siguen el mismo patrón de ramificación a lo largo del perimisio. Al llegar al endomisio, las arterias se abren en una amplia red de capilares alrededor de cada fibra muscular. Como llevan un trayecto espiral en vez de ser rectos, estos vasos pueden tolerar los cambios en la longitud de la fibra muscular.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son los tres tipos de tejido muscular y cuál es la función que cumple cada uno?
2. ¿Qué es el perimisio? ¿Qué estructuras estarían situadas en su interior?
3. Describa la diferencia entre un tendón y una aponeurosis.
4. ¿Cuál es la diferencia entre una unión neuromuscular y una placa motora?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Fibromialgia y síndrome de fatiga crónica La **fibromialgia** (-algia, dolor) es un trastorno que no ha recibido su reconocimiento formal hasta mediados de los años ochenta. Aunque su primera descripción procede de comienzos del siglo XIX, el proceso aún resulta algo controvertido, porque no es posible vincular de manera concluyente sus síntomas a ninguna alteración anatómica o fisiológica. Sin embargo, hoy en día los médicos identifican una pauta característica de síntomas, de acuerdo con los siguientes criterios diagnósticos: dolor osteomuscular generalizado durante un tiempo mínimo de 3 meses, y dolor con la palpación al menos en 11 de los 18 lugares específicos de hipersensibilidad. La fibromialgia se asocia a alteraciones del sueño, depresión y síndrome del colon irritable.

La fibromialgia podría ser el trastorno más frecuente del aparato locomotor entre las mujeres menores de 40 años; en EE. UU. puede haber de 3 a 6 millones de pacientes. Los cuatro puntos de hipersensibilidad más habituales son: 1) la cara medial de la rodilla; 2) la zona distal del epicóndilo lateral del húmero; 3) la región cercana a la cresta occipital externa del cráneo, y 4) la unión entre la segunda costilla y su cartílago costal. Un criterio complementario de carácter clínico consiste en la imposibilidad de explicar el dolor y la rigidez por otros mecanismos.

La mayor parte de los síntomas descritos podrían tener otros orígenes. Por ejemplo, la depresión crónica, por sí misma, puede generar cansancio y sueño de mala calidad. Debido a esto, el patrón de los puntos hipersensibles constituye la clave diagnóstica de la fibromialgia. Este síntoma permite distinguirla del **síndrome de fatiga crónica (SFC).** El cuadro que en la actualidad se acepta como definición del SFC incluye los siguientes aspectos: 1) comienzo brusco, en general tras una infección vírica; 2) cansancio incapacitante; 3) debilidad muscular y dolor; 4) alteración del sueño; 5) fiebre, y 6) linfadenopatías cervicales. Las mujeres reciben aproximadamente el doble de diagnósticos de SFC que los hombres.

Todos los intentos de establecer un vínculo entre la fibromialgia o el SFC y una virosis, una disfunción de las glándulas suprarrenales o algún traumatismo físico o psicológico han sido infructuosos, y sus causas siguen siendo desconocidas. En ambos casos, por ahora el tratamiento se limita a calmar los síntomas siempre que sea posible. Por ejemplo, los antiinflamatorios pueden mejorar los patrones de sueño y reducir la depresión, y los programas de ejercicio sirven para mantener normal la amplitud de los movimientos. Se debe tranquilizar al paciente asegurándole que la fibromialgia no es progresiva, incapacitante ni potencialmente mortal.

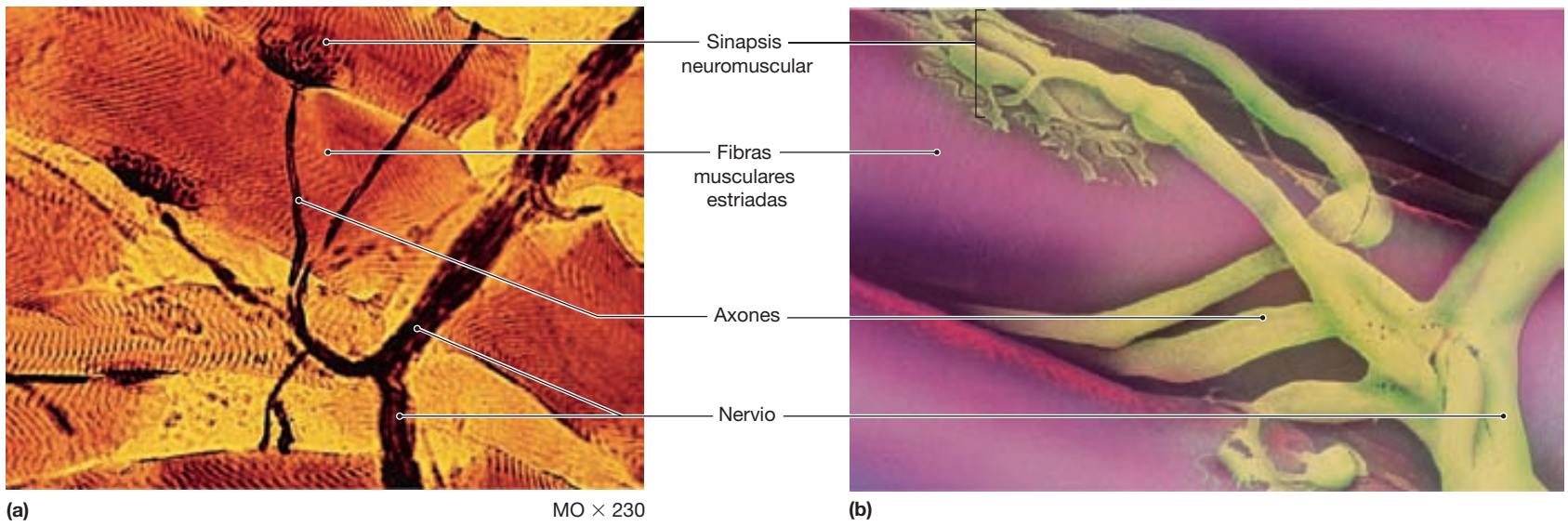


Figura 9.2 Inervación del músculo estriado
Cada fibra muscular estriada recibe el estímulo de una fibra nerviosa en una sinapsis neuromuscular. **(a)** En las fibras musculares de este fascículo se observan varias sinapsis neuromusculares. **(b)** MEB coloreada de una sinapsis neuromuscular.

Microanatomía de las fibras musculares estriadas [v. figuras 9.1/9.3]

La membrana celular de una fibra muscular estriada, o **sarcolema** (*sarkos,* carne + *lemma,* cáscara), rodea al citoplasma, o **sarcoplasma.** Las fibras musculares estriadas difieren de la célula «típica» descrita en el capítulo 2 en unos cuantos aspectos más.

- Las fibras musculares estriadas son muy grandes. Su diámetro en un músculo de la pierna podría medir 100 μm y su longitud alcanzaría la del músculo en su integridad (30-40 cm).
- Las fibras musculares estriadas son *multinucleadas.* Durante el desarrollo, unos grupos de células embrionarias llamadas **mioblastos** se fusionan entre sí para crear fibras musculares estriadas independientes (v. figura 9.3a). Cada núcleo de una fibra muscular estriada refleja la aportación de un solo mioblasto. Cada fibra muscular estriada contiene cientos de núcleos situados inmediatamente bajo el sarcolema (v. figura 9.3b,c). Esta característica distingue las fibras musculares estriadas de las cardíacas y las lisas. Algunos mioblastos no se unen a las fibras musculares en formación, sino que permanecen en el tejido muscular estriado adulto como *células miosatélite* (v. figuras 9.1 y 9.3a). Cuando se lesiona un músculo estriado, su diferenciación puede contribuir a la reparación y regeneración de la estructura.
- Unas profundas hendiduras en la superficie del sarcolema forman una red de túbulos estrechos que se extiende por el sarcoplasma. Los impulsos eléctricos transmitidos por el sarcolema y estos **túbulos transversales,** o **túbulos T,** sirven para estimular las contracciones musculares y coordinarlas.

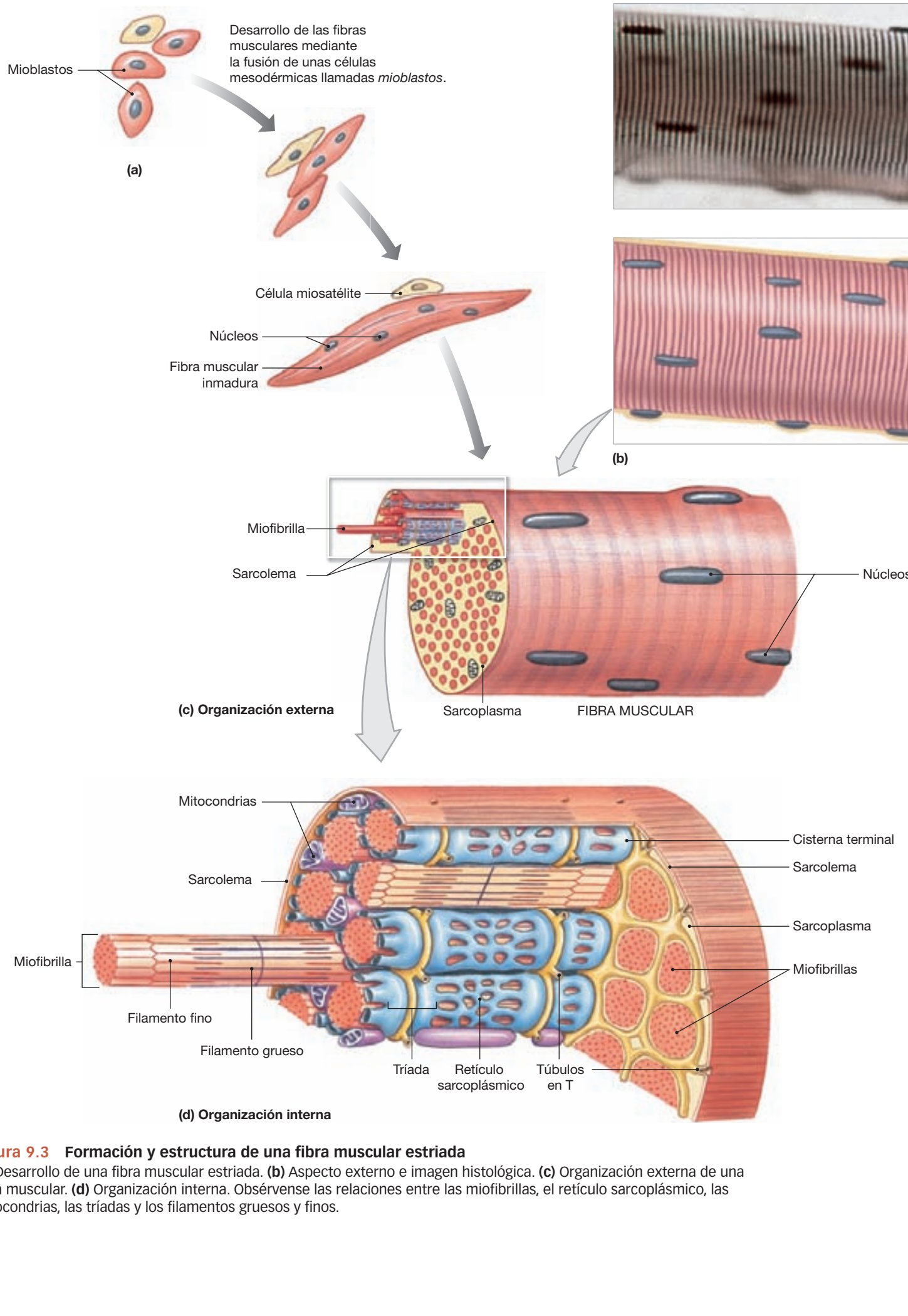
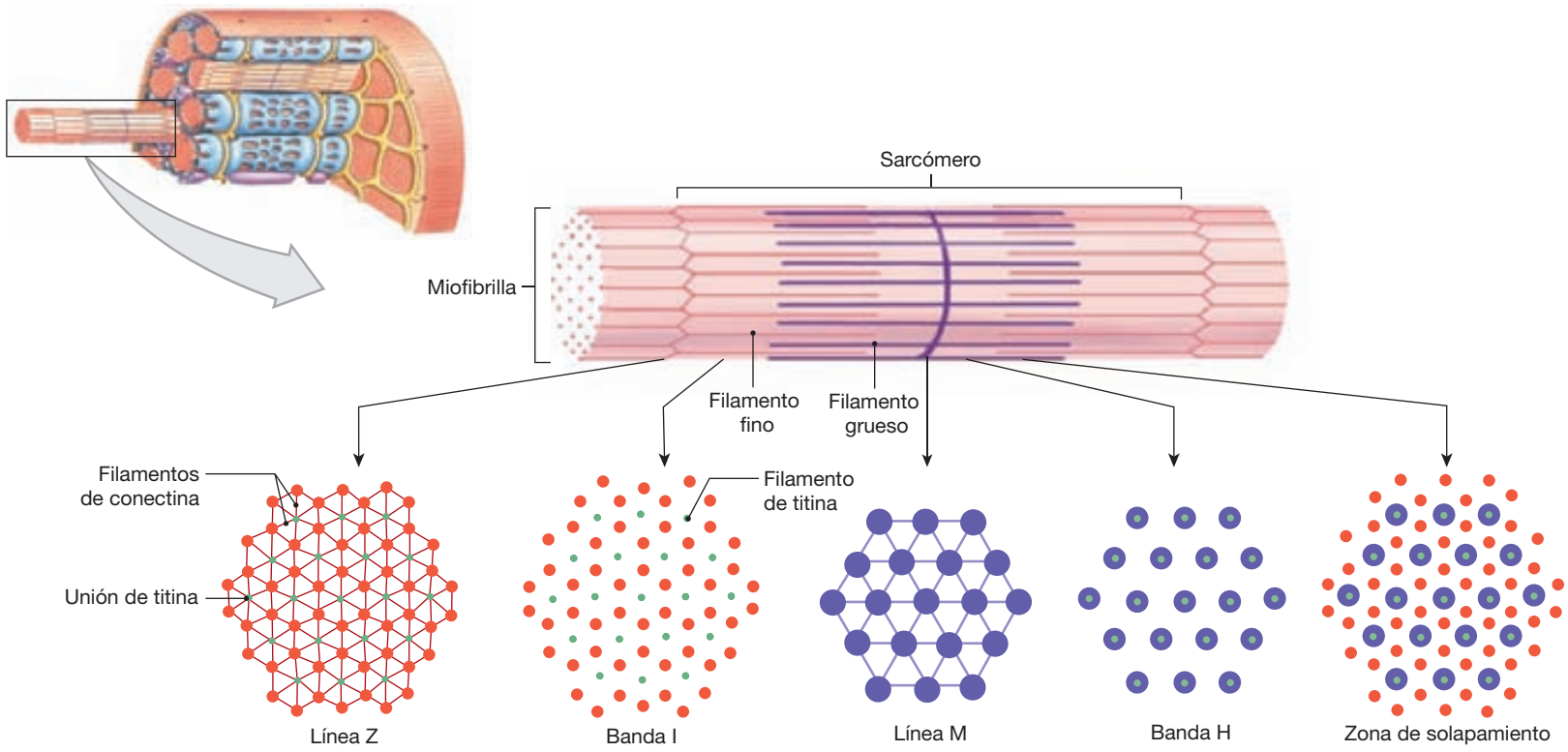
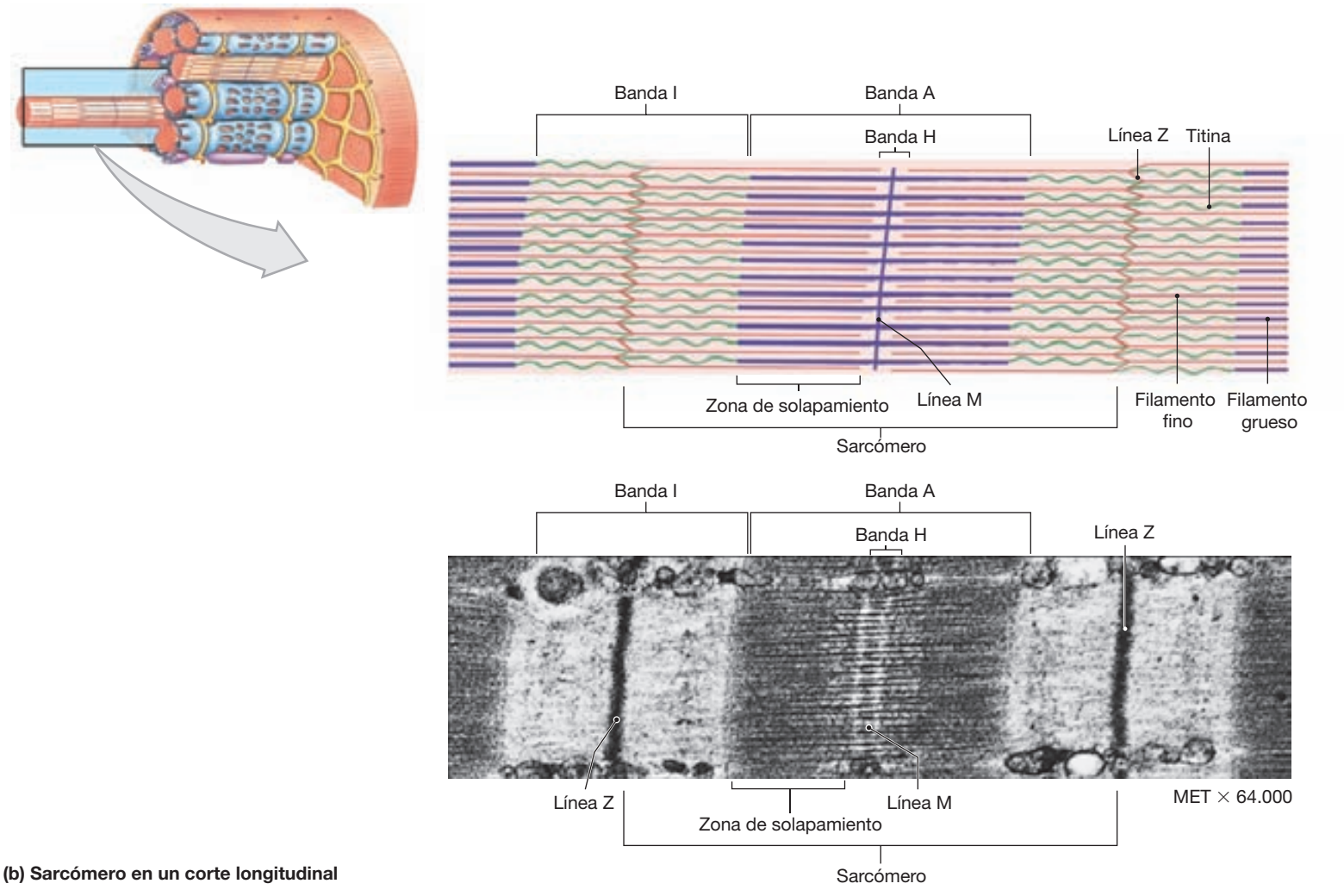


Figura 9.3 Formación y estructura de una fibra muscular estriada
(a) Desarrollo de una fibra muscular estriada. **(b)** Aspecto externo e imagen histológica. **(c)** Organización externa de una fibra muscular. **(d)** Organización interna. Obsérvense las relaciones entre las miofibrillas, el retículo sarcoplásmico, las mitocondrias, las tríadas y los filamentos gruesos y finos.



(a) Organización de los filamentos gruesos y finos



(b) Sarcómero en un corte longitudinal

Figura 9.4 Estructura del sarcómero

(a) Disposición básica de los filamentos gruesos y finos en el interior de un sarcómero y vistas de secciones transversales que pasan por cada una de sus regiones. **(b)** Vista correspondiente de un sarcómero en una miofibrilla perteneciente al músculo gastrocnemio de la pantorrilla y esquema que muestra sus diversos componentes.

Miofibrillas y miofilamentos [v. figura 9.3c,d]

El sarcoplasma de una fibra muscular estriada contiene cientos o miles de **miofibrillas.** Cada una presenta una estructura cilíndrica con un diámetro de 1-2 μm y una longitud que se corresponde a la de la célula entera (v. figura 9.3c,d). Las miofibrillas pueden acortarse, y son los elementos responsables de la contracción de una fibra muscular estriada. Como están ligadas al sarcolema por cada extremo de la célula, su contracción acorta toda la célula.

Alrededor de cada miofibrilla existe un manguito constituido por las membranas del **retículo sarcoplásmico (RS),** un complejo membranoso semejante al retículo endoplásmico liso de otras células (v. figura 9.3d). Esta red de membranas, que presenta una clara vinculación con los túbulos transversales, desempeña una función esencial como mecanismo de control sobre la contracción de cada miofibrilla individual. Rodeando a los túbulos transversales por todos sus lados, los túbulos del RS se ensanchan, se fusionan y forman unas cavidades dilatadas que reciben el nombre de **cisternas terminales.** La combinación de un par de cisternas terminales más un túbulo transversal se denomina **tríada.** Aunque las membranas de la tríada mantienen un contacto íntimo y están herméticamente unidas, no existe una conexión directa entre ellas.

Entre las miofibrillas aparecen mitocondrias y gránulos de glucógeno dispersos. La degradación del glucógeno y la actividad mitocondrial aportan el ATP necesario para ejecutar la contracción muscular. Cualquier fibra muscular estriada representativa contiene cientos de mitocondrias, más que la mayor parte de las otras células del organismo.

Las miofibrillas constan de haces de **miofilamentos,** unos filamentos proteicos constituidos fundamentalmente por las proteínas *actina* y *miosina.* Los de actina se encuentran presentes en los *filamentos finos,* y los de miosina en los *filamentos gruesos* [p. 36]. Ambos adoptan una organización en unidades repetidas llamadas **sarcómeros** (*sarkos,* carne + *meros,* parte).

Organización del sarcómero [v. figuras 9.2/9.3/9.4/9.5]

Los filamentos gruesos y finos contenidos en cada miofibrilla están organizados formando sarcómeros. La distribución que adoptan en su interior le concede un aspecto rayado. Todas las miofibrillas mantienen una disposición paralela al eje longitudinal de la célula y los sarcómeros están situados uno al lado del otro. Por consiguiente, toda la fibra muscular en su integridad adquiere un aspecto rayado debido a las bandas correspondientes a los diversos sarcómeros (v. figuras 9.2 y 9.3).

Cada miofibrilla consta de una serie lineal compuesta por unos 10.000 sarcómeros. Los sarcómeros representan la unidad funcional más pequeña de la fibra muscular –las interacciones entre los filamentos gruesos y finos son las responsables de la contracción en las fibras musculares estriadas. La figura 9.4 esquematiza la estructura de un sarcómero aislado. Los filamentos gruesos ocupan el centro, ligados entre sí por las proteínas de la **línea M.** Los filamentos finos se dirigen hacia la línea M desde cada extremo del sarcómero, unidos por unas proteínas de interconexión que configuran las **líneas Z.** Estas líneas Z delimitan el final de cada sarcómero. En la **zona de solapamiento,** los filamentos finos se introducen entre los gruesos. La figura 9.4a ofrece unos cortes transversales realizados en diferentes porciones del sarcómero. Observe las dimensiones relativas de los filamentos gruesos y finos y la disposición que asumen en esta zona de solapamiento. Cada filamento fino se sitúa dentro de un triángulo formado por tres filamentos gruesos, y cada filamento grueso está rodeado por seis filamentos finos.

Las diferencias en el tamaño y la densidad de los filamentos gruesos y finos explican el aspecto veteado del sarcómero. La **banda A** es el sector que contiene los filamentos gruesos (v. figura 9.4b): abarca la línea M, la **banda H** (integrada únicamente por filamentos gruesos) y la zona de solapamiento (con filamentos gruesos y finos). La región que queda entre la banda A y la línea Z corresponde a la **banda I,** que no presenta más que filamentos finos. Desde las líneas Z que hay en cada extremo del sarcómero, los filamentos finos se extienden hacia la línea M por la zona de solapamiento. Los términos *banda A* y *banda I* proceden de *anisótropo* e *isótropo,* propiedades que designan el aspecto adquirido por estas bandas al observarlas con luz polarizada. Puede resultarle útil recordar que las bandas A son oscuras y las bandas I son claritas. La figura 9.5 repasa los niveles de organización que hemos tratado hasta ahora.

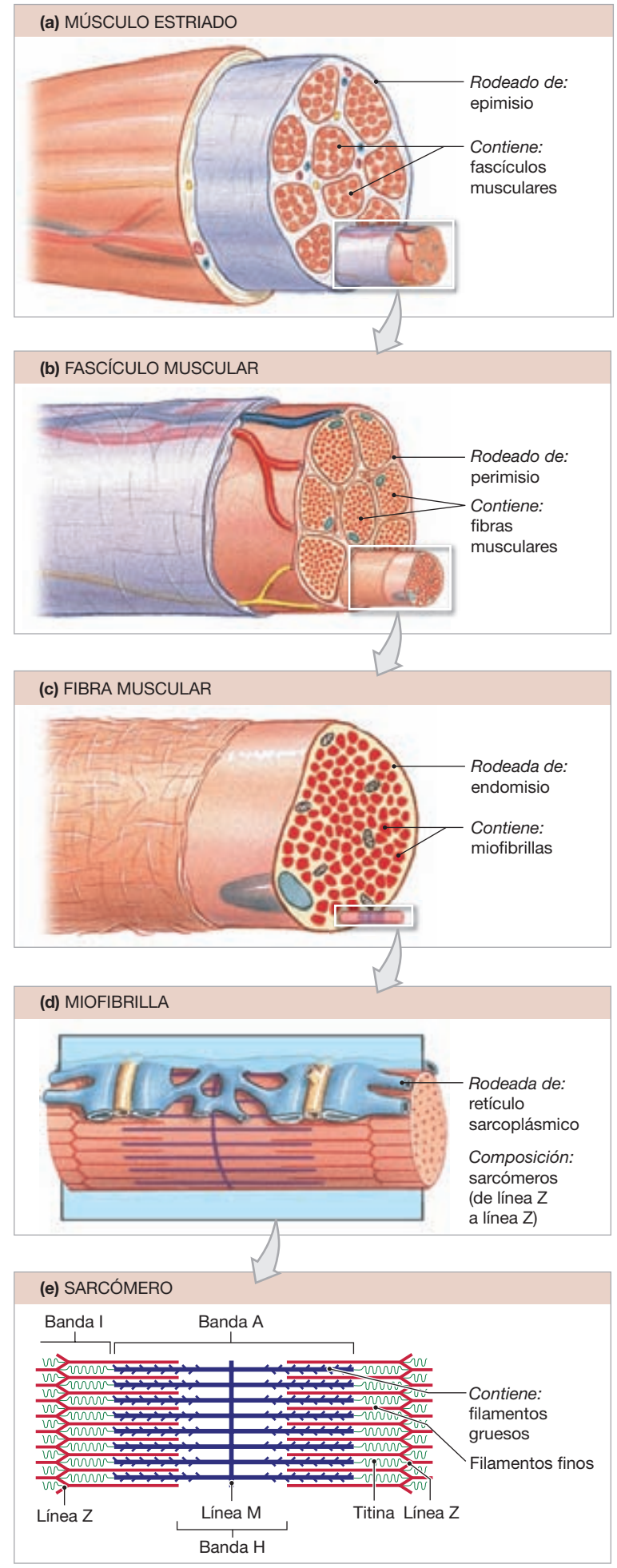
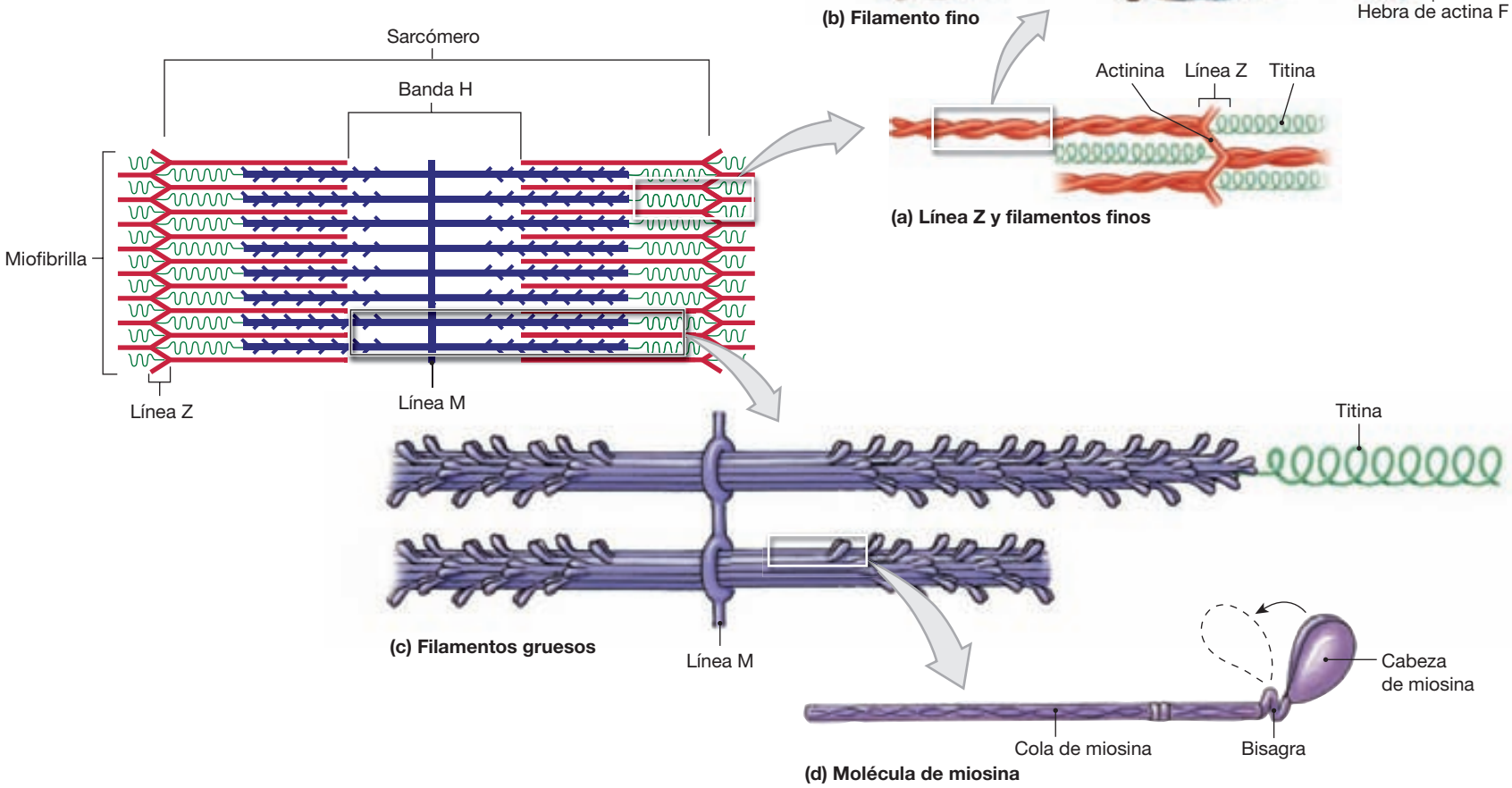


Figura 9.5 Niveles de organización funcional en una fibra muscular estriada

Figura 9.6 Filamentos finos y gruesos

Los miofilamentos son haces formados por las proteínas de los filamentos finos y gruesos. **(a)** Unión de los filamentos finos a la línea Z. **(b)** Estructura detallada de un filamento fino, que muestra la organización de la actina G, la troponina y la tropomiosina. **(c)** Estructura de los filamentos gruesos. **(d)** Molécula de miosina aislada, que ofrece con detalle la estructura y el movimiento de la cabeza de miosina después de la unión de los puentes cruzados.



Filamentos finos [v. figura 9.6a,b] Cada **filamento fino** consta de una hebra enroscada cuyo diámetro mide 5-6 nm y tiene 1 μm de longitud (**v. figura 9.6a,b**). Esta hebra, llamada **actina F,** está compuesta por 300-400 moléculas globulares de *actina G.* La hebra de actina F se mantiene unida por la acción de una hebra delgada de la proteína *nebulina.* Cada molécula de actina G posee un **lugar activo** dotado de la capacidad de unirse a un filamento grueso, por un proceso muy parecido al que emplea una molécula de sustrato con el lugar activo de una enzima. Los filamentos finos también contienen dos proteínas asociadas: la **tropomiosina** y la **troponina** (*trope,* giro). Las moléculas de tropomiosina forman una larga cadena que cubre estos lugares activos, lo que impide la interacción actina-miosina. La troponina mantiene la hebra de tropomiosina en su sitio. Antes de que pueda comenzar la contracción, las moléculas de troponina deben cambiar su posición y desplazar a las de tropomiosina para dejar al descubierto los lugares activos; este mecanismo se detallará en un apartado posterior.

En cada extremo del sarcómero, los filamentos finos se encuentran sujetos a la línea Z. Aunque lleve este nombre porque parece una *línea* oscura al observarla sobre la superficie de la miofibrilla, en una vista transversal más bien adopta el aspecto de una malla abierta creada por unas proteínas llamadas *actininas.* Por esta razón, la línea Z a menudo recibe la denominación de *disco Z.*

Filamentos gruesos [v. figuras 9.4a/9.6c,d] Los **filamentos gruesos** tienen un diámetro de 10-12 nm y una longitud de 1,6 μm (**v. figura 9.6c**). Su estructura está compuesta por un haz de moléculas de miosina. Cada filamento grueso consta aproximadamente de 500 moléculas de miosina, formadas por una doble hebra de miosina que acaba en una *cola* alargada fija y una *cabeza* globular libre (**v. figura 9.6d**). Los filamentos gruesos adyacentes presentan interconexiones entre sí mediante las proteínas de la línea M situadas a la mitad de su trayecto. Las moléculas de miosina dan la espalda a la línea M en su orientación, por lo que su cabeza sobresale hacia fuera mirando a los filamentos finos que existen a su alrededor. Las cabezas de miosina también reciben el nombre de **puentes cruzados,** pues conectan los filamentos gruesos a los finos durante cada contracción.

Cada filamento grueso posee un núcleo de *titina* (**v. figuras 9.4a** y **9.6c**). A cada lado de la línea M, la hebra de titina se extiende siguiendo el recorrido del filamento sin detenerse al acabar la porción del filamento grueso correspondiente a la miosina, para fijarse en la línea Z. El sector de la hebra de titina que permanece al descubierto en la banda I es muy elástico y retrocederá después de desplegarse. En un sarcómero normal en situación de reposo, las hebras de titina se encuentran relajadas del todo; sólo se tensan cuando alguna fuerza externa produce su estiramiento. En ese instante, contribuyen a mantener la alineación normal entre los filamentos gruesos y los finos, y cuando desaparece la tensión, el retroceso que siguen las fibras de titina sirve para devolver el sarcómero a su longitud normal de reposo.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué el músculo estriado presenta este aspecto rayado al observarlo con un microscopio?
2. ¿Qué son las miofibrillas? ¿Dónde están?
3. ¿Qué proteínas componen primordialmente los miofilamentos?
4. ¿Cuál es la unidad funcional del músculo estriado?
5. ¿Qué dos proteínas sirven para regular las interacciones entre la actina y la miosina?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Contracción muscular

La contracción de las fibras musculares ejerce una tracción, o **tensión,** que acorta su longitud. Este proceso deriva de las interacciones ocurridas entre los filamentos gruesos y finos en cada sarcómero. Su mecanismo se explica mediante la *teoría del filamento deslizante.* El fenómeno desencadenante de una contracción es la presencia de iones de calcio (Ca^{2+}), y su propio desarrollo requiere la aportación de ATP.

Teoría del filamento deslizante [v. figuras 9.7/9.8]

La observación directa de las fibras musculares en contracción manifiesta los siguientes acontecimientos: 1) las bandas H e I se reducen; 2) la zona de solapamiento aumenta; 3) las líneas Z se acercan, pero 4) la anchura de la banda A permanece constante todo el tiempo (**v. figura 9.7**). La explicación de estos procesos se conoce como **teoría del filamento deslizante.** Su formulación explica los cambios físicos que ocurren entre los filamentos gruesos y finos durante la contracción.

El deslizamiento tiene lugar cuando las cabezas de miosina de los filamentos gruesos establecen un vínculo con los lugares activos de los filamentos finos. Al unirse mediante los puentes cruzados, la cabeza de miosina bascula hacia la línea M, y tira del filamento fino hacia el centro del sarcómero. A continuación, el puente cruzado se desprende y regresa a su posición inicial, quedando listo para repetir el ciclo de «unión, basculación, desprendimiento y regreso». Cuando los filamentos gruesos arrastran a los finos, las líneas Z se acercan a las líneas M y el sarcómero se acorta.

Si muchas personas tiran de una soga, el grado de tensión alcanzado es proporcional al número de individuos que participen. En una fibra muscular, la magnitud de la tensión generada durante una contracción depende de la cantidad de interacciones que tengan lugar entre los puentes cruzados en los sarcómeros de las miofibrillas. A su vez, el número de estos puentes cruzados viene determinado por el nivel de solapamiento que haya entre los filamentos gruesos y los finos. Únicamente las cabezas de miosina presentes en la zona de solapamiento pueden unirse a los lugares activos y producir tensión. Por tanto, la tensión creada por la fibra muscular guarda una relación directa con la estructura de cada sarcómero (**v. figura 9.8**). Si su longitud es la óptima, la fibra muscular llega a la máxima tensión (**v. figura 9.8c**). El intervalo normal en el que se mueve el tamaño de un sarcómero va del 75% al 130% de sus dimensiones óptimas. Durante los movimientos normales, nuestras fibras musculares funcionan dentro de unos amplios límites de valores intermedios, y así, la ten-

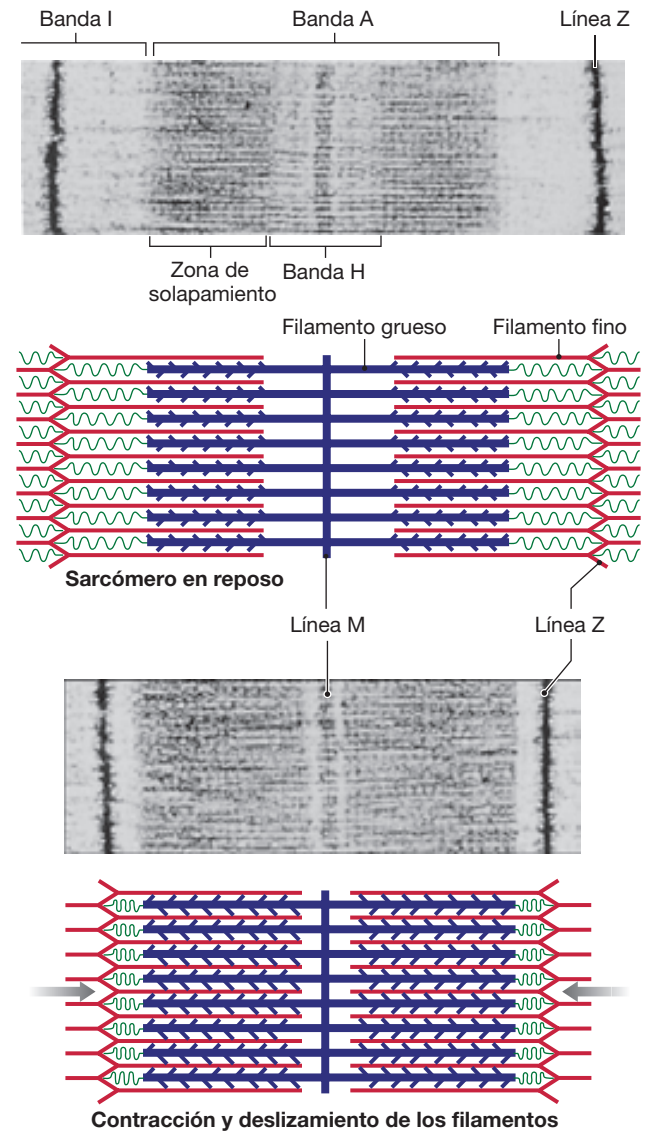


Figura 9.7 Cambios en el aspecto de un sarcómero durante la contracción de una fibra muscular estriada
Durante una contracción, la banda A conserva la misma anchura, pero las líneas Z se acercan entre sí, y las bandas I y H se estrechan.

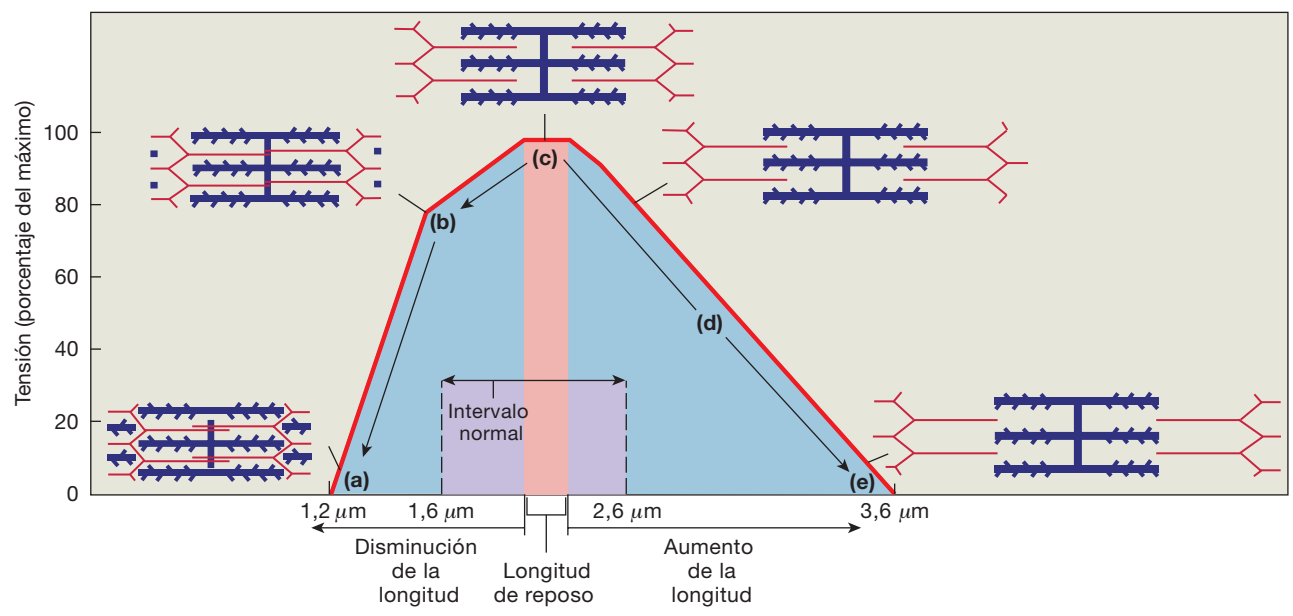


Figura 9.8 Efecto de la longitud del sarcómero sobre la tensión
Si los sarcómeros son demasiado cortos o demasiado largos, esto repercute en el rendimiento de la contracción. Cuando son demasiado cortos, no puede producirse, porque: **(a)** los filamentos gruesos entran en contacto con las líneas Z, o **(b)** los filamentos finos se superponen en el centro del sarcómero. **(c)** La tensión generada por una fibra muscular estriada en contracción llega a un máximo cuando la zona de solapamiento es grande, pero los filamentos finos no cruzan el centro del sarcómero. Si los sarcómeros se estiran demasiado, la zona de solapamiento se reduce **(d)** o desaparece **(e),** y disminuyen las interacciones entre los puentes cruzados o ni siquiera pueden darse.

sión lograda varía de un momento a otro. En el curso de una actividad como caminar, que supone la contracción y relajación cíclica de los músculos, las fibras musculares se distienden hasta acercarse mucho a su longitud óptima antes de recibir el estímulo para contraerse.

Inicio de una contracción [v. figuras 9.3d/9.9]

El desencadenante inmediato de la contracción es la aparición de iones de calcio libres en el sarcoplasma. La concentración intracelular de iones de calcio suele ser muy baja. En la mayoría de las células, esto es así porque cada vez que penetran en el citoplasma, son bombeados de inmediato hacia el líquido extracelular a través de las membranas celulares. Aunque así es como las fibras musculares estriadas expulsan el Ca^{2+} fuera de la célula, también lo transportan hacia las cisternas terminales del retículo sarcoplásmico (**v. figura 9.9**). El sarcoplasma de una fibra muscular estriada en reposo contiene unas concentraciones muy bajas de iones calcio, pero dentro de las cisternas terminales su valor puede llegar a ser hasta 40.000 veces mayor.

Los fenómenos eléctricos que acontecen en la superficie del sarcolema provocan una contracción al disparar la liberación de los iones de calcio por las cisternas terminales. El «mensaje» eléctrico, o impulso, se distribuye a través de los túbulos transversales que penetran en la profundidad del sarcoplasma dentro de la fibra muscular. Un túbulo transversal nace en el sarcolema y se extiende hacia el interior llevando una dirección perpendicular a la superficie de la membrana (**v. figura 9.3d**, p. 241). A lo largo de este trayecto, sus ramas rodean individualmente a cada sarcómero en el límite que separa la banda A de la banda I.

Cuando un impulso eléctrico recorre un túbulo T situado en sus inmediaciones, las cisternas terminales adquieren permeabilidad libre para los iones de calcio. Estos iones difunden hacia la zona de solapamiento, donde se unen a la troponina. Esto propicia un cambio en la forma de la molécula, lo que modifica la posición de la hebra de tropomiosina y deja al descubierto los lugares activos de las moléculas de actina. A continuación, se crean los puentes cruzados y comienza la contracción.

Final de una contracción

La duración de la contracción suele depender del tiempo que dure la estimulación eléctrica. El cambio de la permeabilidad al calcio ocurrido en las cisternas terminales sólo es transitorio, por lo que si la contracción ha de continuar, deben transmitirse nuevos impulsos eléctricos a lo largo de los túbulos T. Cuando cese la estimulación eléctrica, el retículo sarcoplásmico recaptará los iones de calcio, el complejo troponina-tropomiosina cubrirá los lugares activos y la contracción finalizará.

La unión y degradación del ATP es responable de «ladear» la cabeza de miosina y ponerla en condiciones de ligarse a un lugar activo en la actina.

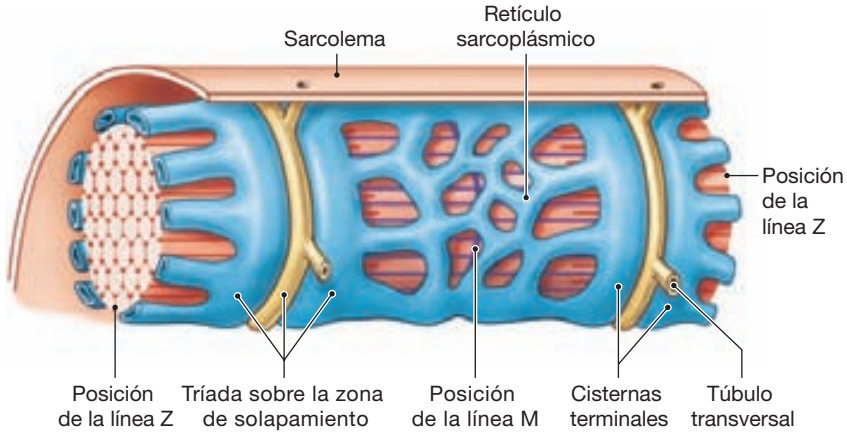


Figura 9.9 Orientación del retículo sarcoplásmico, los túbulos T y los sarcómeros independientes
Cuando un túbulo T rodea a un sarcómero entre dos cisternas terminales, aparece una tríada. Compárese con la *figura 9.3d;* obsérvese que las tríadas surgen en las zonas de solapamiento.

Después de formarse un puente cruzado, la cabeza de miosina bascula y tira del filamento fino hacia el centro del sarcómero. En ese momento, debe enlazarse otro ATP sobre la cabeza de miosina antes de soltarse y volver a ladearse para comenzar un nuevo ciclo. Por tanto, incluso si la estimulación es continua, a la larga las fibras musculares dejarán de contraerse cuando se queden sin ATP. Cada cabeza de miosina puede repetir cinco ciclos por segundo, y existen cientos de ellas en cada filamento grueso, cientos de filamentos gruesos en cada sarcómero, miles de sarcómeros en cada miofibrilla, y cientos o miles de miofibrillas en cada fibra muscular. Dicho con otras palabras, la contracción de una fibra muscular consume unas cantidades enormes de ATP.

Aunque la contracción muscular constituye un proceso activo, la recuperación de la longitud de reposo es totalmente pasiva. Los músculos no pueden empujar; sólo pueden tirar. Entre los factores que contribuyen a recuperar la longitud de reposo normal después de acortarse un músculo figura la intervención de las fuerzas elásticas (como el retroceso de las fibras elásticas en el epimisio, el perimisio y el endomisio), la tracción de otros músculos y la gravedad.

Control nervioso de la contracción de las fibras musculares [v. figuras 9.2/9.10]

La secuencia básica de los acontecimientos que integran este proceso puede resumirse así:

1. Las sustancias químicas emitidas por la motoneurona en la sinapsis neuromuscular modifican el potencial de membrana del sarcolema. Este cambio recorre toda su superficie y penetra por los túbulos transversales.
2. La variación en el potencial de membrana de los túbulos T desencadena la liberación de iones de calcio por el retículo sarcoplásmico. Esta salida pone en marcha la contracción, tal como se ha detallado antes.

Cada fibra muscular estriada está controlada por una *motoneurona* cuyo soma celular se encuentra situado en el interior del sistema nervioso central [p. 77]. El axón de esta motoneurona se dirige hacia la periferia hasta llegar a la sinapsis neuromuscular de esa fibra muscular. En la **figura 9.2**, de la p. 240, se ofreció el aspecto general de una sinapsis neuromuscular. La **figura 9.10** aporta más detalles al respecto. El extremo dilatado del axón a nivel de la sinapsis neuromusuclar se denomina **terminal sináptico.** Su citoplasma contiene numerosas mitocondrias y pequeñas vesículas de secreción, llamadas **vesículas sinápticas,** llenas de moléculas de **acetilcolina (ACh).**

La acetilcolina es un ejemplo de *neurotransmisor,* que son los productos químicos liberados por una neurona para comunicarse con otra célula. Esa comunicación adopta la forma de un cambio en el potencial de membrana de dicha célula. El terminal sináptico está separado de la placa motora perteneciente a la fibra muscular estriada por un espacio estrecho, la **hendidura sináptica.** Esta hendidura contiene la enzima **acetilcolinesterasa (AChE),** o *colinesterasa,* encargada de descomponer las moléculas de ACh.

Cuando llega un impulso eléctrico al terminal sináptico, la ACh se vierte a la hendidura sináptica. A continuación, las moléculas liberadas se unen a los puntos receptores de la placa motora, lo que pone en marcha un cambio en el potencial local de membrana. Esta variación desemboca en la generación de un impulso eléctrico, o **potencial de acción,** que recorre toda la superficie del sarcolema y cada túbulo T. Los potenciales de acción no dejarán de producirse uno tras otro, hasta que la acetilcolinesterasa elimine la ACh ligada.

Contracción muscular: resumen [v. figura 9.11]

En la **figura 9.11** aparece condensada visualmente toda la secuencia de acontecimientos que tiene lugar desde la activación nerviosa hasta la culminación de una contracción.

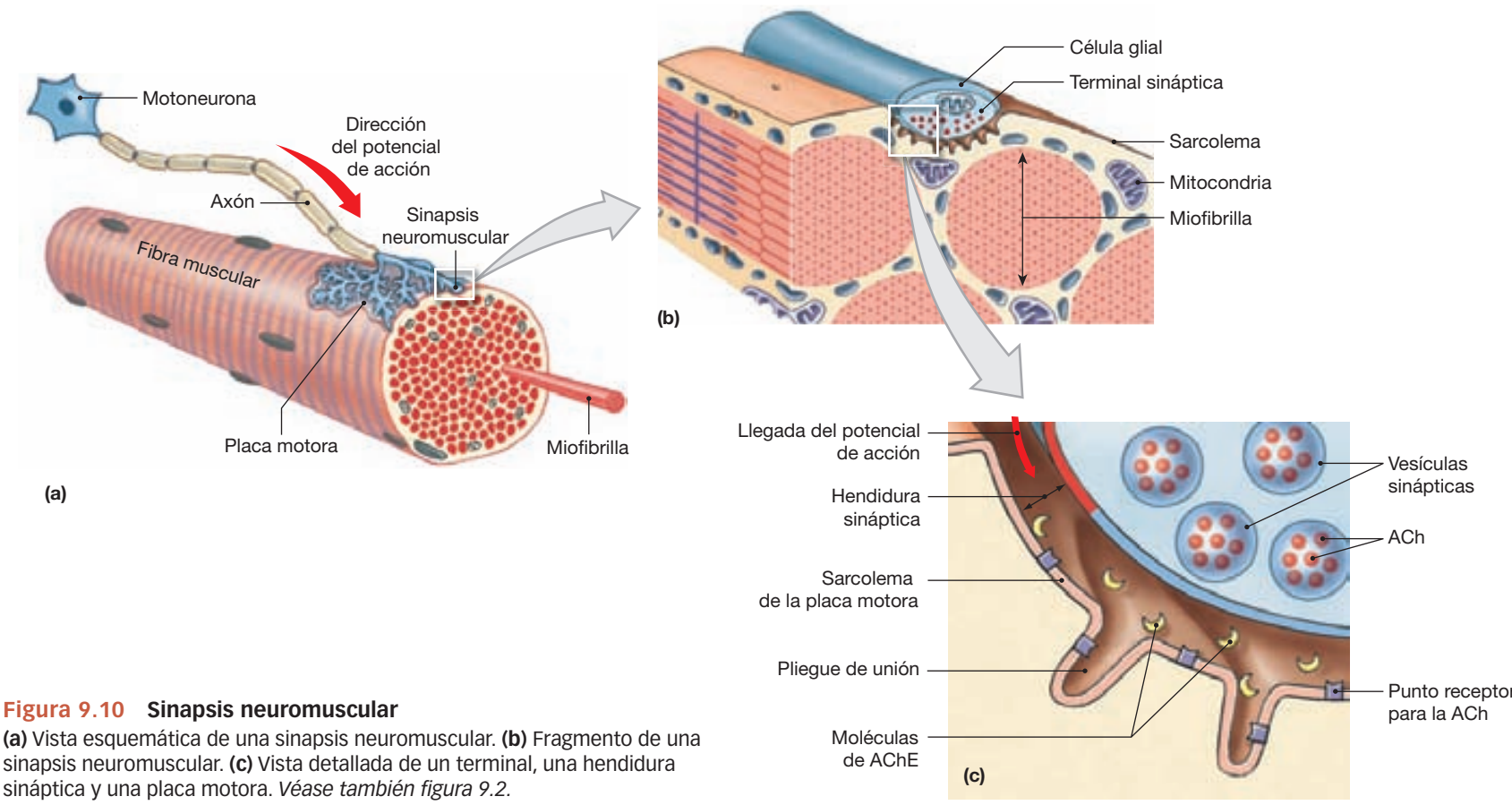


Figura 9.10 **Sinapsis neuromuscular**
(a) Vista esquemática de una sinapsis neuromuscular. **(b)** Fragmento de una sinapsis neuromuscular. **(c)** Vista detallada de un terminal, una hendidura sináptica y una placa motora. *Véase también figura 9.2.*

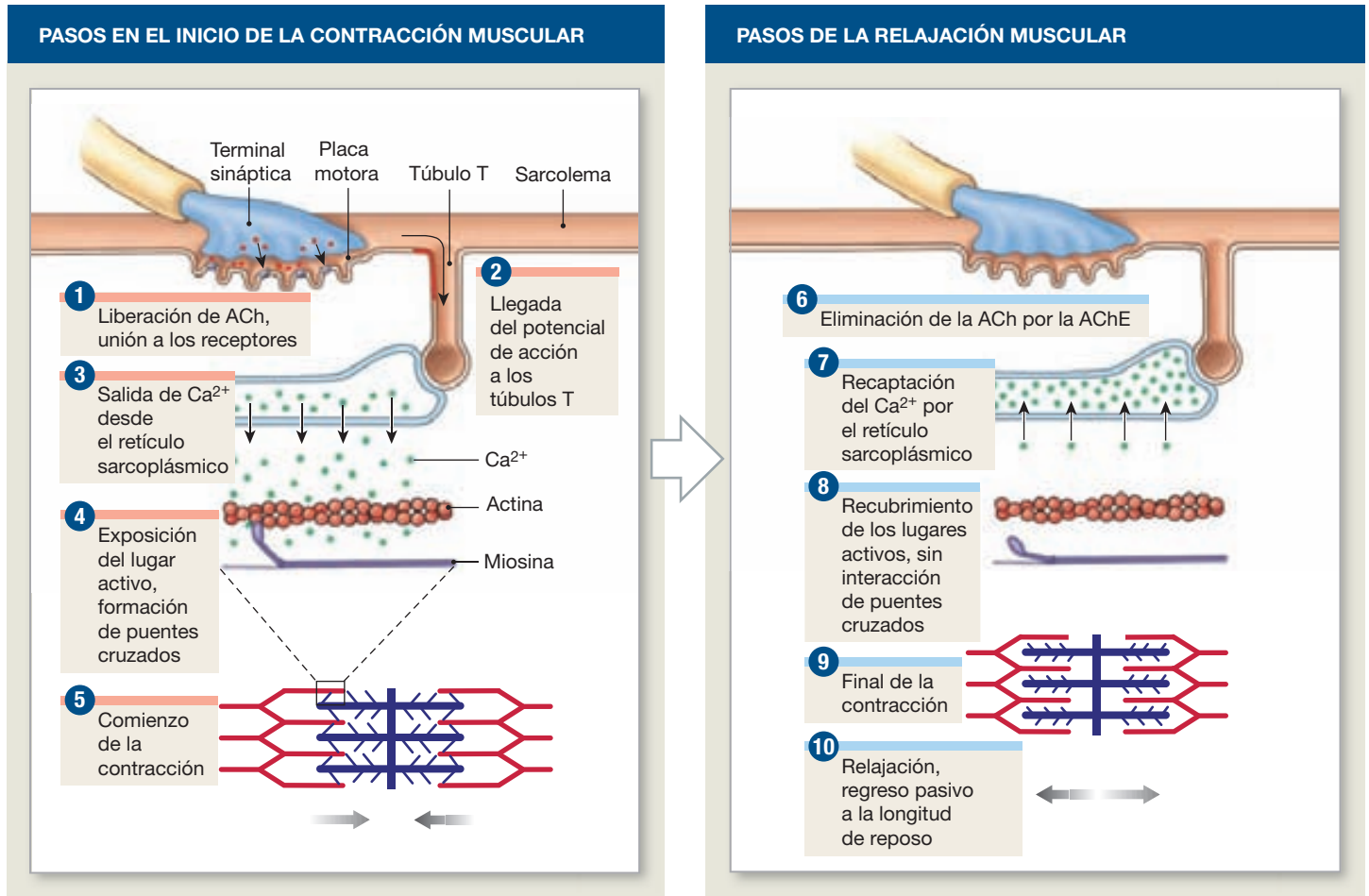

PASOS EN EL INICIO DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR
Terminal sináptica
Placa motora
Túbulo T
Sarcolema
1 Liberación de ACh, unión a los receptores
2 Llegada del potencial de acción a los túbulos T
3 Salida de Ca2+ desde el retículo sarcoplásmico
Ca2+
4 Exposición del lugar activo, formación de puentes cruzados
Actina
Miosina
5 Comienzo de la contracción
PASOS DE LA RELAJACIÓN MUSCULAR
6 Eliminación de la ACh por la AChE
7 Recaptación del Ca2+ por el retículo sarcoplásmico
8 Recubrimiento de los lugares activos, sin interacción de puentes cruzados
9 Final de la contracción
10 Relajación, regreso pasivo a la longitud de reposo

Figura 9.11 **Fenómenos de la contracción muscular**
Resumen de la secuencia de acontecimientos que suceden en una contracción muscular.

Nota clínica

Rigidez cadavérica Al producirse la muerte, se detiene la circulación y los músculos estriados quedan privados de los nutrientes y el oxígeno. En el plazo de unas pocas horas, las fibras musculares estriadas han agotado todo su ATP y el retículo sarcoplásmico pierde la capacidad de retirar los iones de calcio del sarcoplasma. En ese momento, su difusión desde el líquido extracelular o su filtración desde el retículo sarcoplásmico desencadena una contracción mantenida. Sin ATP, los puentes cruzados no pueden separarse de los lugares activos, y el músculo queda bloqueado en su posición contraída. Esto afecta a todos los músculos estriados del organismo, y el individuo se encuentra «tieso como una tabla». Este estado físico, llamado **rigidez cadavérica,** dura hasta que las enzimas lisosómicas vertidas por autólisis descomponen los miofilamentos en un plazo de 15-25 horas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué sucede en las bandas A e I de una miofibrilla durante cada contracción?
2. Enumere la secuencia de actividades que suceden durante una contracción.
3. ¿Cómo interaccionan las cisternas terminales con los túbulos transversales para generar la contracción de un músculo estriado?
4. ¿Qué es un neurotransmisor? ¿Qué funciones desempeña?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Los pasos clave en el inicio de una contracción son los siguientes:

1. En la sinapsis neuromuscular (SNM), la ACh emitida por el terminal sináptico se une a sus receptores situados en el sarcolema.
2. El cambio ocasionado en el potencial de membrana de la fibra muscular da lugar a la producción de un potencial de acción que se propaga por toda su superficie y a lo largo de los túbulos T.
3. El retículo sarcoplásmico (RS) libera los iones calcio almacenados, aumentando su concentración en el sarcoplasma de los sarcómeros y en sus inmediaciones.
4. Los iones calcio se unen a la troponina, lo que produce un cambio en la orientación del complejo troponina-tropomiosina que deja al descubierto los lugares activos de los filamentos finos (de actina). Cuando las cabezas de miosina se ligan a los lugares activos, se forman los puentes cruzados de miosina.
5. Los ciclos de unión de puentes cruzados, basculación y desprendimiento se repiten mediante la hidrólisis del ATP. Estos fenómenos producen un deslizamiento de los filamentos y la fibra muscular se acorta.

El proceso continúa durante un breve período, hasta que:

6. La generación de potenciales de acción se interrumpe cuando la acetilcolinesterasa (AChE) descompone la ACh.
7. El RS reabsorbe los iones de calcio y su concentración disminuye en el sarcoplasma.
8. Cuando las concentraciones de los iones calcio se acercan a los valores normales de reposo, el complejo troponina-tropomiosina regresa a su posición normal. Este cambio oculta los lugares activos e impide una nueva interacción entre los puentes cruzados.
9. Sin estas interacciones entre los puentes cruzados, no hay nuevos deslizamientos, y la contracción acaba.
10. El músculo se relaja, y la fibra muscular vuelve pasivamente a su longitud de reposo.

Unidades motoras y control muscular [v. figura 9.12]

Todas las fibras musculares controladas por una sola motoneurona integran una **unidad motora.** Cualquier músculo estriado característico contiene miles de fibras musculares. Aunque hay algunas motoneuronas que se encargan de una sola fibra, la mayoría se ocupan de cientos. El tamaño de una unidad motora constituye un indicio acerca del grado de control que es posible ejercer sobre el movimiento. En los músculos oculares, donde resulta importantísimo mantener una gran precisión, cada motoneurona puede regir nada más que dos o tres fibras musculares. En cambio, este control es mucho menos estricto en el caso de los músculos generadores de fuerza, como los de la pierna, donde una sola motoneurona puede regular hasta 2.000 fibras musculares.

Los músculos estriados se contraen cuando se estimulan sus unidades motoras. El grado de tensión alcanzado depende de dos factores: 1) la frecuencia de estimulación, y 2) el número de unidades motoras que intervengan. Cada contracción independiente y transitoria se denomina **fasciculación.** Una fasciculación es la respuesta a un estímulo aislado. A medida que crezca el ritmo de estimulación, se multiplicará la tensión generada hasta llegar a su apogeo y su estabilización en unos niveles máximos. La mayoría de las contracciones musculares se asocian a este tipo de estimulación.

Cada fibra muscular puede contraerse por completo o no hacerlo en absoluto. Esta característica se denomina *principio del todo o nada.* El conjunto de las fibras que componen una unidad motora se contrae al mismo tiempo, y, por tanto, el grado de fuerza ejercido por el músculo en su totalidad depende de la cantidad de unidades motoras activadas. Mediante la variación de este número, el sistema nervioso mantiene un control preciso sobre la tracción efectuada por un músculo en cualquier momento.

Cuando se toma la decisión de realizar un movimiento, se estimulan unos grupos de motoneuronas específicos. Las neuronas activadas no responden al unísono, y con el tiempo, poco a poco va aumentando el número de unidades motoras participantes. La **figura 9.12** muestra la mezcla existente entre las fibras musculares pertenecientes a una unidad motora y las de otras unidades. Debido a esta distri-

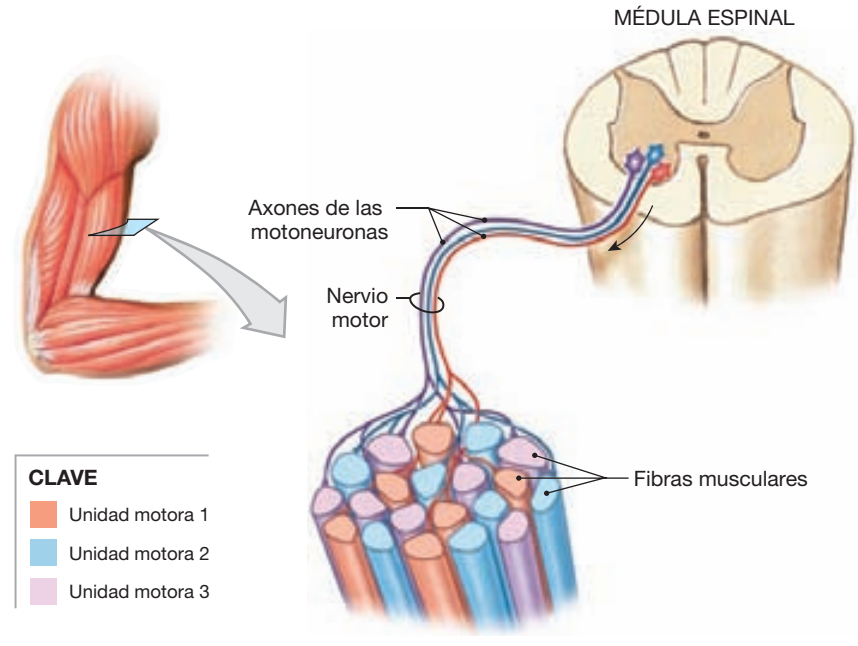


Figura 9.12 Disposición de las unidades motoras en un músculo estriado
Las fibras musculares de unidades motoras diferentes están mezcladas entre sí, por lo que la distribución neta de la fuerza aplicada sobre el tendón permanece constante, incluso cuando algún grupo muscular pase de un ciclo de contracción a otro de relajación. El número de fibras musculares que hay por cada unidad motora varía desde una sola hasta más de 2.000.

bución combinada, la tracción ejercida sobre el tendón no cambia de dirección a medida que se activen más unidades motoras, aunque sí que crezca constantemente la intensidad total de la fuerza aplicada. El incremento suave pero continuo de la tensión muscular ante el aumento del número de las unidades motoras activas se denomina **reclutamiento,** o **suma de múltiples unidades motoras.**

La tensión máxima se alcanza cuando todas las unidades motoras del músculo se contraen al mayor ritmo de estimulación posible. Sin embargo, estas contracciones tan potentes no pueden durar mucho tiempo, porque cada fibra muscular agota pronto las reservas de energía a su disposición. Para mitigar la aparición del cansancio durante los períodos de contracción mantenida, las unidades motoras se activan de manera rotatoria, con lo que una parte se encuentra en fase de reposo y recuperación mientras otras siguen en un estado de contracción activa.

Tono muscular

Aunque un músculo se encuentre en reposo, algunas unidades motoras estarán siempre activas. Sus contracciones no generarán la tensión suficiente para producir un movimiento, pero sí que tensan su masa. Esta tensión de los músculos estriados en reposo se denomina **tono muscular.** Las unidades motoras reciben su estimulación al azar, por lo que hay una tensión constante en la inserción tendinosa, pero cada fibra muscular puede recibir un tiempo para su relajación. El tono muscular en reposo estabiliza la posición de los huesos y las articulaciones. Por ejemplo, en los músculos que intervienen para mantener el equilibrio y la postura, se estimula un número suficiente de unidades motoras como para generar la tensión necesaria que conserve la posición del cuerpo. Hay unos miocitos especializados llamados **husos musculares,** que reciben fibras de los nervios sensitivos encargados de controlar el tono muscular en el tejido a su alrededor. Los reflejos suscitados por la actividad de estos nervios sensitivos desempeñan una función importante en el control reflejo de la posición y la postura, tema que se examinará en el capítulo 14.

Hipertrofia muscular

El ejercicio aumenta la actividad de los husos musculares y puede potenciar el tono del músculo. Como consecuencia de su estimulación repetida e íntegra, las fibras adquieren una mayor cantidad de mitocondrias, una concentración más alta de enzimas glucolíticas y unas reservas de glucógeno superiores. Estas fibras musculares contienen más miofibrillas, y cada miofibrilla lleva un número más elevado de filamentos gruesos y finos. El efecto neto es un aumento en el tamaño del músculo estimulado, o **hipertrofia.** La hipertrofia aparece en aquellos músculos que hayan recibido estímulos constantes para alcanzar una tensión cercana a sus valores máximos; los cambios intracelulares acaecidos acentúan el grado de tensión creado cuando estos músculos se contraen. Un campeón de halterofilia o de culturismo ofrece un ejemplo excelente de desarrollo muscular hipertrofiado.

Atrofia muscular

Cuando una motoneurona no estimula un músculo estriado con regularidad, pierde tono y masa muscular. Su consistencia se vuelve flácida y las fibras se reducen y se debilitan. Esta disminución en el tamaño, el tono y la potencia del músculo se denomina **atrofia.** Las personas paralíticas por una lesión medular u otra alteración del sistema nervioso experimentarán una reducción paulatina del tono muscular en las regiones afectadas, así como de sus dimensiones. Incluso el menor uso transitorio de un músculo puede dar lugar a una atrofia muscular; para ver estas diferencias en el tono y en el tamaño, hay que comparar los músculos de las extremidades antes y después de llevar una escayola. En un primer momento, la atrofia muscular es reversible, pero las fibras musculares en fase de destrucción no se sustituyen, y en una situación extrema, las carencias funcionales se vuelven permanentes. Esta es la razón de que la fisioterapia sea decisiva cuando una persona no pueda moverse con normalidad de manera temporal.

Tipos de fibras musculares estriadas [v. figura 9.13]

Los músculos estriados están diseñados para cumplir varias acciones. El tipo de fibras que los compongan determinará, en parte, este cometido. En el organismo hay tres clases fundamentales de fibras musculares estriadas: *rápidas, lentas* e *intermedias.* En la **figura 9.13** están representadas las fibras musculares rápidas y lentas. Las diferencias entre estos grupos son una manifestación de las divergencias en su modo de obtener el ATP para mantener la contracción.

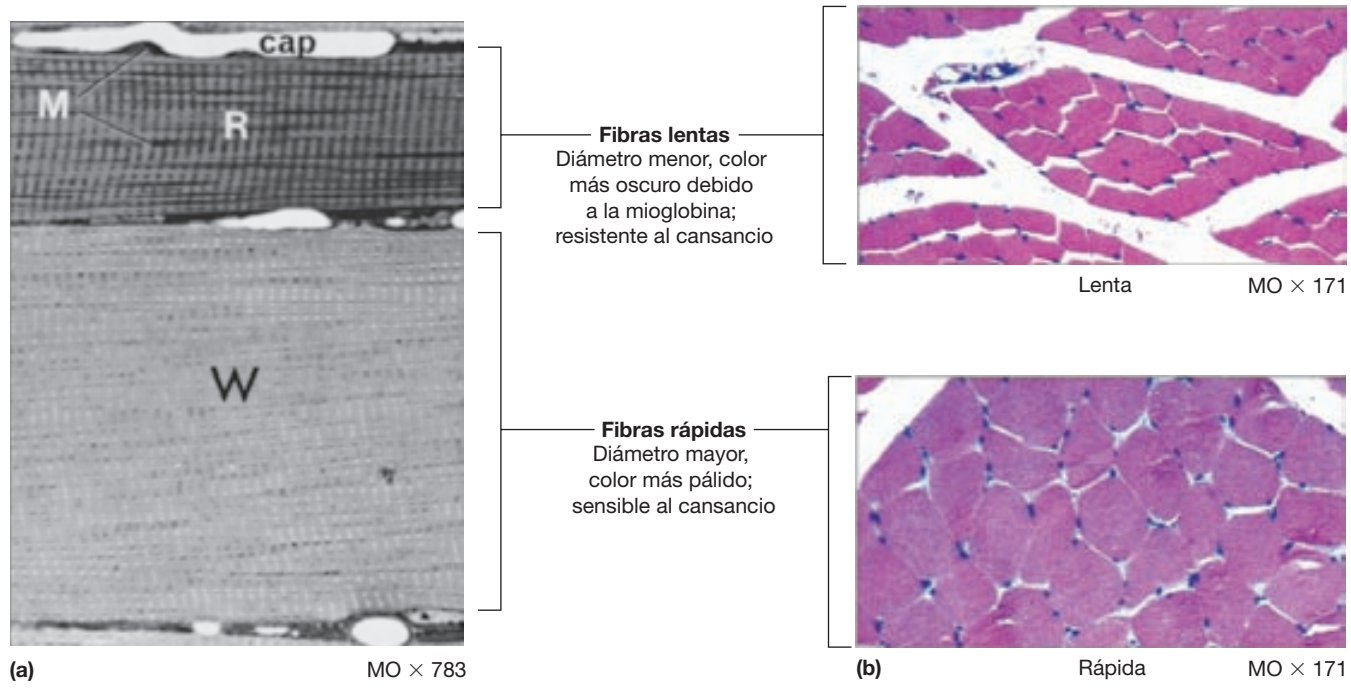


Figura 9.13 Tipos de fibras musculares estriadas
Las fibras rápidas están preparadas para las contracciones rápidas y las lentas para las más lentas, pero prolongadas. **(a)** La fibra muscular lenta (R) relativamente delgada tiene más mitocondrias (M) y recibe más capilares (cap) que la fibra muscular rápida (W). **(b)** Obsérvese la diferencia entre el tamaño de las fibras musculares lentas (arriba) y rápidas (abajo).

Las **fibras rápidas,** o *fibras blancas,* tienen un diámetro grande; contienen miofibrillas muy apretadas, unas reservas abundantes de glucógeno y una cantidad relativamente baja de mitocondrias. La mayoría de las fibras musculares estriadas del organismo reciben esta denominación porque pueden contraerse en un plazo máximo de 0,01 segundos tras su estimulación. La tensión generada por una fibra muscular es directamente proporcional al número de sarcómeros que posea, por lo que los músculos formados por fibras rápidas producen unas contracciones potentes. Sin embargo, también consumen un volumen enorme de ATP, y sus mitocondrias no son capaces de satisfacer las necesidades surgidas. Por consiguiente, las contracciones se mantienen básicamente por la *glucólisis anaerobia* (*an,* sin + *aer,* aire + *bios,* vida). Esta vía de reacción, que no requiere oxígeno, convierte el glucógeno almacenado en ácido láctico. Las fibras rápidas se cansan pronto, pues sus reservas de glucógeno son limitadas y se acumula ácido láctico, lo que desciende el pH e interfiere el mecanismo de contracción.

Las **fibras lentas,** o *fibras rojas,* tienen un diámetro que sólo mide más o menos la mitad que el de las rápidas, y tardan el triple de tiempo en contraerse desde su estimulación. Este tipo está especializado en mantener la contracción durante un período prolongado, mucho después de que se hubiera agotado cualquier músculo rápido. Esta propiedad la tienen porque sus mitocondrias son capaces de seguir produciendo ATP durante toda la contracción. Tal como recordará del capítulo 2, las mitocondrias consumen oxígeno y generan ATP. La vía de reacción correspondiente se denomina *metabolismo aerobio.* El oxígeno necesario procede de dos fuentes:

1. Los músculos estriados que contienen fibras musculares lentas contienen una red de capilares más abundante que aquellos en los que predominen las fibras musculares rápidas. Esto significa que hay un mayor flujo sanguíneo y los glóbulos rojos pueden aportar más oxígeno a las fibras musculares activas.
2. Las fibras lentas son rojas porque contienen **mioglobina,** un pigmento de ese color. Esta proteína globular guarda una relación estructural con la hemoglobina, el pigmento de fijación al oxígeno que llevan los glóbulos rojos, y también se une a las moléculas de oxígeno. Por tanto, las fibras musculares lentas en reposo disponen de unas reservas de oxígeno apreciables, que pueden movilizarse durante una contracción.

Los músculos lentos también contienen un número relativamente mayor de mitocondrias que las fibras musculares rápidas. Mientras que estas últimas deben recurrir a sus reservas de glucógeno durante los niveles de actividad máximos, las mitocondrias de los músculos lentos pueden descomponer los carbohidratos, los lípidos o incluso las proteínas. Por tanto, están en perfectas condiciones para mantener la contracción durante períodos prolongados; por ejemplo, los músculos de la pierna de los corredores de maratón se encuentran repletos de fibras musculares lentas.

Las **fibras intermedias** presentan unas propiedades intermedias en comparación con las fibras rápidas y las lentas. Por ejemplo, se contraen más rápidas que las lentas pero más lentas que las rápidas. Desde el punto de vista histológico, son muy parecidas a las fibras rápidas, aunque contienen más mitocondrias, reciben un riego capilar algo mayor y su resistencia al cansancio es superior.

En la tabla 9.1 se detallan las propiedades de los diversos tipos de músculos estriados.

Distribución de las fibras rápidas, lentas e intermedias

El porcentaje de fibras musculares rápidas, lentas e intermedias varía de un músculo estriado a otro. La mayor parte contienen una mezcla de estos tipos, aunque todas las fibras de cada unidad motora sean de la misma clase. Sin embargo, no hay fibras lentas ni en los músculos oculares ni en los de la mano, donde hace falta efectuar contracciones veloces pero breves. En muchos músculos de la espalda y de la pantorrilla predominan las fibras lentas; estos músculos necesitan mantener un estado casi permanente de contracción para conservar la postura vertical.

La genética determina el porcentaje de las fibras rápidas frente a las lentas en cada músculo, con diferencias considerables entre los individuos. Estas variaciones ejercen su propio efecto sobre la resistencia. Una persona con más fibras musculares lentas en determinado músculo tendrá una mayor capacidad de contraerlo repetidas veces bajo unas condiciones aerobias. Por ejemplo, los corredores de maratón con una gran proporción de fibras musculares lentas en los músculos de las piernas aventajan a los que tienen más fibras musculares rápidas. Durante los períodos breves de actividad intensa, como un *sprint* o una prueba de levantamiento de pesas, las personas con un gran porcentaje de fibras musculares rápidas serán quienes estén en condiciones de superioridad.

Las características de las fibras musculares varían según la preparación física seguida. Las sesiones intensas y repetidas de ejercicio favorecen el aumento de las fibras musculares rápidas y la hipertrofia muscular. El entrenamiento para las pruebas de resistencia, como la carrera campo a través o el maratón, eleva la proporción de fibras intermedias en los músculos activos. Esto sucede por una transformación gradual de las fibras rápidas en intermedias.

El adiestramiento de resistencia no fomenta la hipertrofia y muchos deportistas se decantan por una combinación de actividades aerobias, como la natación, y actividades anaerobias, como el levantamiento de pesas o las carreras de velocidad. Esta mezcla, denominada *entrenamiento por intervalos,* aumenta los músculos y mejora su fuerza y su resistencia.

TABLA 9.1 Propiedades de los diversos tipos de fibras musculares estriadas

Propiedad	Lenta	Intermedia	Rápida
Diámetro transversal	Pequeño	Intermedio	Grande
Tensión	Baja	Intermedia	Alta
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Resistencia al cansancio	Alta	Intermedia	Baja
Color	Rojo	Rosa	Blanco
Contenido de mioglobina	Alto	Bajo	Bajo
Riego capilar	Abundante	Intermedio	Escaso
Mitocondrias	Muchas	Intermedias	Pocas
Concentración de enzimas glucolíticas en el sarcoplasma	Baja	Alta	Alta
Sustratos utilizados para generar ATP durante la contracción	Lípidos, carbohidratos, aminoácidos (aerobio)	Básicamente, carbohidratos (anaerobio)	Carbohidratos (anaerobio)
Nombres alternativos	Tipo I, S (lenta), roja, SO (oxidativa lenta), oxidativa de contracción lenta	Tipo II-A, FR (resistente al cansancio rápida), oxidativa de contracción rápida	Tipo II-B, FF (sensible al cansancio rápida), blanca, glucolítica de contracción rápida

Nota clínica

Mialgias diferidas Probablemente alguna vez habrá sufrido mialgias un día después de haber dedicado un tiempo a hacer ejercicio físico. Existe una gran controversia sobre la fuente que origina este dolor y su trascendencia; el proceso en cuestión recibe el nombre de *mialgias diferidas (MD)* y posee varias características interesantes:

- Las MD son diferentes del dolor experimentado inmediatamente después de interrumpir el ejercicio. Ese dolor inicial breve probablemente guarda una relación con los fenómenos bioquímicos asociados al cansancio muscular.
- Las MD en general comienzan varias horas después de acabar el período de ejercicio y pueden durar 3 o 4 días.
- El grado que alcanzan es mayor cuando la actividad realizada entraña unas contracciones excéntricas. En cambio, si predominan las contracciones concéntricas e isométricas, el dolor es menor.
- Las concentraciones de CPK y de mioglobina están elevadas en la sangre, lo que indica una alteración a nivel de los sarcolemas musculares. La naturaleza de la actividad (excéntrica, concéntrica o isométrica) no influye sobre estos valores y sus cifras tampoco pueden utilizarse para predecir la intensidad del dolor padecido.

Se han propuesto tres mecanismos para explicar las MD:

1. La producción de pequeños desgarros en el tejido muscular puede generar alteraciones en la membrana de las fibras musculares. El sarcolema de los elementos dañados permite la salida de enzimas, de mioglobina y de otros productos químicos capaces de estimular los receptores para el dolor que haya en las inmediaciones.
2. El dolor puede obedecer al espasmo muscular de los músculos estriados afectados. En algunos estudios, el estiramiento del músculo en cuestión una vez concluido el ejercicio redujo el grado de malestar.
3. El dolor puede derivar de las roturas ocurridas en la estructura de tejido conjuntivo y en los tendones del músculo estriado.

Existen pruebas a favor de cada uno de estos mecanismos, pero no parece probable que ninguno de ellos revele todos los hechos en su integridad. Por ejemplo, la lesión de las fibras musculares se confirma de forma indudable de los datos bioquímicos, pero si fuera el único factor implicado, el tipo de actividad y la concentración de las enzimas intracelulares registrada en la circulación se correlacionarían con el grado de dolor experimentado, cosa que no sucede.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué un velocista experimenta un cansancio muscular pasados unos minutos, mientras que un corredor de maratón puede seguir activo durante horas?
2. ¿Cuál es el tipo de fibras musculares que daría como predominantes en los grandes músculos de la pierna de cualquier persona descollante en actividades de resistencia como el ciclismo o el atletismo de fondo?
3. ¿Por qué algunas unidades motoras sólo controlan unas cuantas fibras musculares, mientras que otras controlan muchas?
4. ¿Qué es el reclutamiento?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Organización de las fibras musculares estriadas [v. figuras 9.1/9.14]

Aunque el ritmo de contracción sea comparable en la mayoría de las fibras musculares estriadas y experimenten un acortamiento equiparable, las variaciones observadas en su organización microscópica y macroscópica pueden repercutir tremendamente sobre la potencia, la amplitud y la velocidad de los movimientos producidos cuando un músculo se contrae.

Las fibras musculares de un músculo estriado forman haces llamados *fascículos* (**v. figura 9.1**, p. 239). En cada uno de ellos siguen trayectos paralelos entre sí, pero la organización que adoptan los fascículos en un músculo estriado puede variar, lo mismo que la relación entre los fascículos y su tendón correspondiente. Cuatro son los patrones diferentes en cuanto a su disposición u organización, que dan lugar a los *músculos paralelos,* los *músculos convergentes,* los *músculos penniformes* y los *músculos circulares.* La **figura 9.14** explica la distribución de los fascículos en el músculo estriado.

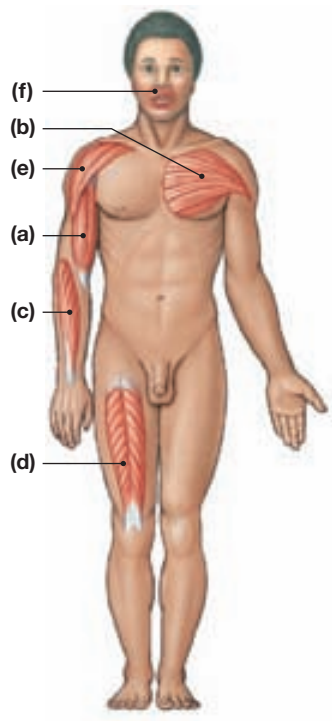
Músculos paralelos [v. figura 9.14a]

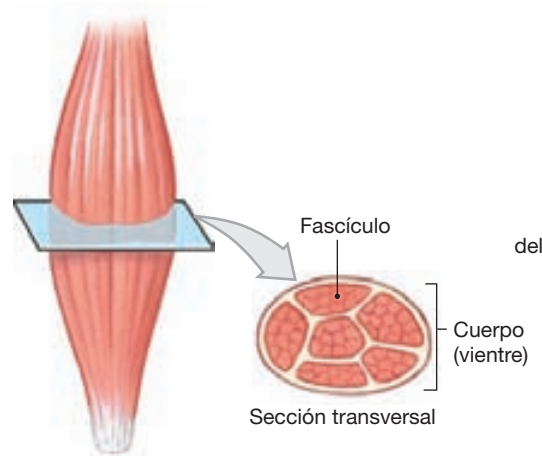
En un **músculo paralelo,** los fascículos se orientan paralelos al eje longitudinal de toda su masa. Las características funcionales de un músculo paralelo se parecen a las de una fibra muscular aislada. Piense en el músculo estriado representado en la **figura 9.14a**. Presenta una inserción sólida por medio de un tendón que salta desde su extremo libre hasta un hueso móvil del esqueleto. La mayor parte de los músculos estriados del organismo son músculos paralelos. Hay algunos que forman bandas planas, con una aponeurosis ancha en cada extremo; otros son fusiformes, con tendones en uno de sus extremos o en ambos parecidos a un cordón. Este tipo de músculo tiene un **cuerpo** central, también llamado *vientre*. Cuando el músculo se contrae, sufre un acortamiento y su cuerpo aumenta de diámetro. El *músculo bíceps braquial* del brazo es un ejemplo de un músculo paralelo dotado de un cuerpo central. El relieve que produce su contracción puede observarse sobre la cara anterior del brazo al flexionar el codo.

Un miocito estriado va a contraerse con eficacia hasta haberse acortado más o menos un 30% de su longitud. Como las fibras musculares siguen un trayecto paralelo al eje longitudinal del músculo, al activarse a la vez, acortan todo el músculo en la misma proporción. Por ejemplo, si el músculo estriado mide 10 cm de largo, el extremo del tendón se desplazará 3 cm cuando se contraigan sus fibras. La tensión adquirida durante este proceso depende del número total de miofibrillas que contenga. Como las miofibrillas están repartidas equitativamente por el sarcoplasma de cada célula, la tensión puede calcularse según el área transversal del músculo en reposo. Un músculo estriado paralelo con un área transversal de 6,45 cm^2 llegará a alcanzar aproximadamente unos 23 kg de tensión.

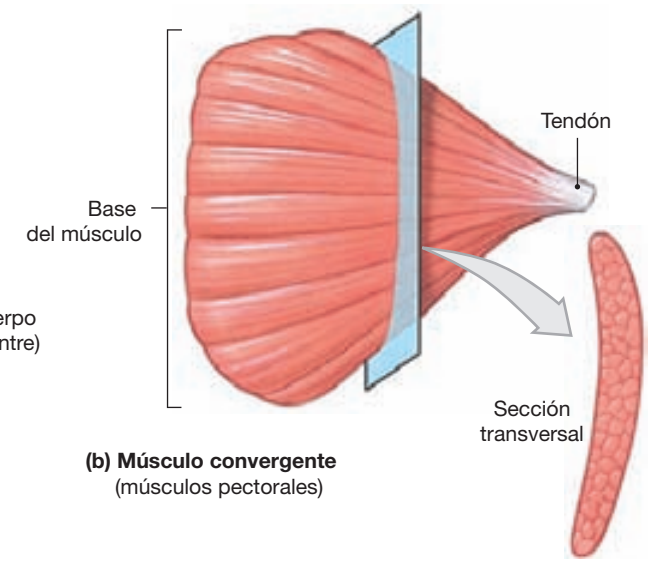
Músculos convergentes [v. figura 9.14b]

En un **músculo convergente,** las fibras musculares se originan en una región amplia, pero todas se reúnen en un mismo punto de inserción común. Su acción va a consistir en tirar de un tendón, de una lámina tendinosa o de una banda delgada de fibras colágenas denominada **rafe** (costura). Las fibras musculares suelen desplegarse como un abanico o un triángulo ancho, que presenta un tendón en su vértice, tal como se muestra en la **figura 9.14b**. Los llamativos *músculos pectorales* del tórax tienen esta forma. Los músculos de este tipo poseen versatilidad; la dirección con la que ejercen su tracción puede cambiar mediante la estimulación de un único grupo de miocitos cada vez. Sin embargo, cuando todos se contraen al unísono, no actúan con tanta fuerza sobre el tendón como un músculo paralelo del mismo tamaño debido a que las fibras musculares de sus dos lados opuestos tiran en sentidos diferentes en vez de hacerlo todas en el mismo sentido.





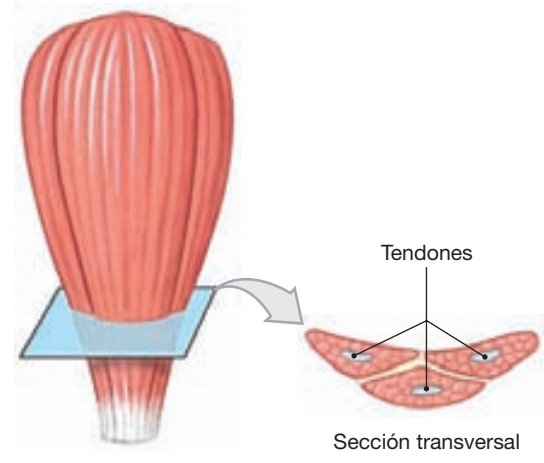
(a) Músculo paralelo
(músculo bíceps braquial)



(b) Músculo convergente
(músculos pectorales)

(c) Músculo unipenniforme
(músculo extensor de los dedos)

(d) Músculo bipenniforme
(músculo recto femoral)



(e) Músculo multipenniforme
(músculo deltoides)

(f) Músculo circular
(músculo orbicular de la boca)

Figura 9.14 Organización de las fibras musculares estriadas
Se observan cuatro disposiciones diferentes en la configuración de las fibras musculares: **(a)** paralela, **(b)** convergente, **(c, d, e)** penniforme y **(f)** circular.

Músculos penniformes [v. figura 9.14c-e]

En un **músculo penniforme** (*penna,* pluma*),* el cuerpo muscular está recorrido por un tendón o por varios, y los fascículos forman un ángulo oblicuo con su trayecto. Al tirar de canto, la contracción de los músculos penniformes no desplaza sus tendones una distancia tan grande como los músculos paralelos. Sin embargo, su contenido de fibras musculares es mayor que en uno de este tipo con el mismo tamaño, y por esta razón, la contracción del músculo penniforme genera más tensión que la de un músculo paralelo de idénticas dimensiones.

Si todos los miocitos ocupan el mismo lado del tendón, el músculo es **unipenniforme** (v. figura 9.14c). Un músculo largo encargado de extender los dedos de la mano, el *músculo extensor de los dedos,* es un ejemplo de músculo unipenniforme. Más frecuente es que haya fibras musculares a ambos lados del tendón. Un ejemplo destacado en el muslo, el *músculo recto femoral,* es un **músculo bipenniforme** (v. figura 9.14d) que contribuye a extender la rodilla. Si el tendón se ramifica en su interior, el músculo es multipenniforme (v. figura 9.14e). El *músculo deltoides* que cubre la cara superior de la articulación del hombro tiene forma triangular y es un ejemplo de **músculo multipenniforme.**

Músculos circulares [v. figura 9.14f]

En un **músculo circular,** o **esfínter,** las fibras adoptan una disposición concéntrica alrededor de un orificio o de un hueco (v. figura 9.14f). Cuando el músculo se contrae, disminuye el diámetro de este orificio. Los músculos circulares protegen la entrada y la salida de las estructuras de conducción internas, como el tubo digestivo y las vías urinarias. Un ejemplo es el *músculo orbicular de la boca,* situado en los labios.

Terminología de los músculos

[v. tabla 9.2]

Cada músculo comienza en un **origen,** acaba en una **inserción** y su contracción produce una **acción** concreta. En la tabla 9.2 se recogen los términos que indican las acciones musculares, las diversas regiones específicas del cuerpo y las características estructurales del músculo.

Orígenes e inserciones

Proverbialmente, el origen es el extremo que permanece fijo y la inserción el que se desplaza, o el origen ocupa un lugar proximal a la inserción. Por ejemplo, el tríceps se inserta en el olécranon y su origen está más cerca del hombro. Estas definiciones se adjudican durante los movimientos normales con el individuo en posición anatómica. Parte de la gracia que acompaña al estudio del sistema muscular reside en poder llevar a cabo en la realidad los distintos movimientos y reflexionar sobre los músculos que participan (los debates de laboratorio sobre el sistema muscular muchas veces se parecen a una clase de aeróbic mal organizada).

Cuando no sea posible determinar con facilidad el origen y la inserción a partir de aspectos como el movimiento o la posición, se recurre a otros criterios. Si un músculo se extiende desde una amplia aponeurosis hasta un tendón estrecho, la aponeurosis se considera su origen y el tendón está ligado a su inserción. Si existen varios tendones en un extremo y uno solo en el otro, el músculo tiene múltiples orígenes y una única inserción. Estas sencillas reglas no llegan a cubrir todas las situaciones posibles y en el fondo conocer qué extremo actúa como origen y cuál es su inserción tiene menos importancia que saber dónde se fijan los dos extremos y qué hace el músculo al contraerse.

Acciones

Casi todos los músculos estriados se originan o se insertan en el esqueleto. Cuando un músculo desplaza alguno de sus elementos, ese movimiento puede suponer una *abducción,* una *aducción,* una *flexión,* una *extensión,* una *circunducción,* una *rotación,* una *pronación,* una *supinación,* una *eversión,* una *inversión,* una *flexión dorsal,* una *flexión plantar,* una *flexión lateral,* una *oposición,* una *protracción,* una *retracción,* una *elevación* y una *depresión.* Antes de seguir adelante, piense en repasar la explicación sobre los planos del movimiento y las figuras 8.3 a 8.5 [pp. 210-212].

Existen dos métodos para describir las acciones de un músculo. El primero recurre a la región ósea implicada. Por tanto, se dice que el músculo bíceps braquial efectúa la «flexión del antebrazo». El segundo método especifica cuál es la articulación que interviene. Así pues, la acción del músculo bíceps braquial se describe como la «flexión del (o en el) codo». Ambos procedimientos son válidos y cada uno tiene sus ventajas, pero en los capítulos posteriores básicamente vamos a utilizar el segundo para explicar las acciones musculares.

Los músculos pueden agruparse en tres tipos según sus **acciones primarias:**

1. *Músculos agonistas (principales):* un **músculo agonista,** o **principal,** es aquel cuya contracción es la principal responsable de producir un movimiento determinado, como la flexión en el codo. El músculo bíceps braquial representa un ejemplo de músculo agonista o principal que realiza la flexión en el codo.
2. *Sinérgicos:* cuando un **sinérgico** (*syn-*, juntos + *ergon,* trabajo) se contrae, suma su contribución al músculo principal para efectuar esa acción. Los sinérgicos pueden aportar una tracción complementaria que actúe cerca de la inserción o estabilizar el punto de origen. Su

TABLA 9.2 Terminología de los músculos

Términos que indican una dirección con respecto a los ejes del cuerpo	Términos que indican regiones específicas del cuerpo*	Términos que indican características estructurales del músculo	Términos que indican acciones
Anterior (delante)	Abdominal (abdomen)	**ORIGEN**	**GENERAL**
Externo (superficial)	Ancóneo (codo)	Bíceps (dos cabezas)	Abductor
Extrínseco (fuera)	Auricular (oreja)	Tríceps (tres cabezas)	Aductor
Inferior (abajo)	Braquial (brazo)	Cuádriceps (cuatro cabezas)	Depresor
Interno (profundo, dentro)	Carpiano (muñeca)		Elevador
Intrínseco (dentro)	Cefálico (cabeza)	**FORMA**	Extensor
Lateral (fuera)	Cervical (cuello)	Deltoides (triángulo)	Flexor
Medial/medio (medio, centro)	Cleido-/-clavicular (clavícula)	Esplenio (como una venda)	Pronador
Oblicuo (angular)	Coccígeo (cóccix)	Orbicular (círculo)	Rotador
Posterior (detrás)	Costal (costillas)	Pectíneo (como un peine)	Supinador
Profundo (interno)	Cubital (cúbito)	Piriforme (con forma de pera)	Tensor
Recto (derecho, paralelo)	Cutáneo (piel)	Platis- (plano)	
Superficial (externo)	Dedo gordo del pie *(hallucis)*	Piramidal (pirámide)	**ESPECÍFICO**
Superior (arriba)	Escapular (escápula)	Romboides (rombo)	Buccinador (trompetista)
Transversal (transverso)	Femoral (fémur)	Serrato (dentado)	Risorio (reidor)
	Genio- (mentón)	Redondo (largo y redondeado)	Sartorio (como un sastre)
	Gloso-/-lingual (lengua)	Trapecio (trapezoidal)	
	Ilio- (ilion)		
	Inguinal (ingle)	**OTRAS CARACTERÍSTICAS LLAMATIVAS**	
	Lumbar (región de los lomos)	Alba (blanco)	
	Nasal (nariz)	Breve (corto)	
	Nucal (nuca)	Grácil (delgado)	
	Oculo- (ojo)	Lata (ancho)	
	Oral (boca)	Latísimo (el más ancho)	
	Palpebral (párpado)	Longísimo (el más largo)	
	Poplíteo (detrás de la rodilla)	Longo (largo)	
	Psoas (lomo)	Magno (grande)	
	Pulgar *(pollicis)*	Mayor (más grande)	
	Radial (radio)	Máximo (grandísimo)	
	Temporal (sien)	Mínimo (pequeñísimo)	
	Torácico (tórax)	Menor (más pequeño)	
	Tibial (tibia)	-tendíneo (tendinoso)	
	Uro- (urinario)	Vasto (grande)	

*Para consultar otros términos regionales, acuda a la figura 1.8, p. 14, que especifica los detalles anatómicos.

importancia como medio de ayuda para un movimiento concreto va a cambiar a lo largo de su realización; en muchos casos, tienen una mayor utilidad al comienzo, cuando el músculo principal está estirado y su potencia es relativamente baja. Por ejemplo, el *músculo dorsal ancho* y el *músculo redondo mayor* tiran del brazo hacia abajo. Al señalar hacia el techo, las fibras musculares que componen el enorme músculo dorsal ancho se encuentran en un estado de máxima distensión, y adoptan una alineación paralela al húmero. En esta posición, nunca va a ser capaz de producir una gran tensión. Sin embargo, la orientación del músculo redondo mayor, que se origina en la escápula, permite que su contracción sea más eficiente, y auxilia al músculo dorsal ancho para poner en marcha un movimiento que vaya en sentido inferior. La relevancia de este «colaborador» más pequeño disminuye a medida que prosigue el desplazamiento hacia abajo. En este caso, el músculo dorsal ancho es el agonista y el músculo redondo mayor el sinérgico. Los sinérgicos también pueden secundar a un agonista si impiden el movimiento de una articulación y así estabilizan su origen. Estos músculos se denominan *fijadores.*

3. *Antagonistas:* los **antagonistas** son músculos con una acción opuesta a la del agonista; si el agonista produce una flexión, el antagonista provocará la extensión. Cuando un agonista se contrae para realizar un movimiento concreto, el antagonista correspondiente se estirará, pero normalmente sin relajarse del todo. En cambio, su tensión va a graduarse para controlar la velocidad del movimiento y procurar su homogeneidad. Por ejemplo, el músculo bíceps braquial actúa como un agonista cuando se contrae, y flexiona el codo. Mientras tanto, el músculo tríceps braquial, situado en el lado contrario del húmero, actúa como un antagonista para estabilizar el movimiento de flexión y efectuar la acción opuesta, la extensión del codo.

Nombres de los músculos estriados [v. tabla 9.2]

No es preciso que se aprenda los casi 700 músculos del cuerpo humano en su integridad, pero sí debe familiarizarse con los más importantes. Por suerte, los términos que designan la mayoría de los músculos estriados ofrecen pistas para su identificación (v. tabla 9.2). Los músculos estriados reciben su denominación según diversos criterios, como las regiones concretas que ocupan en el organismo, la orientación de sus fibras musculares, algún rasgo específico o insólito que posean, la referencia a su origen e inserción y sus principales funciones. El nombre puede indicar una región determinada (el *músculo braquial* del brazo), la forma del músculo (los *músculos trapecio* o *piriforme*) o cualquier combinación de ambas posibilidades *(músculo bíceps braquial).*

Algunos casos aluden a la orientación de las fibras musculares dentro de un músculo estriado en particular. Por ejemplo, **recto** significa «derecho», y los músculos rectos son músculos paralelos cuyas fibras siguen por regla general el eje longitudinal del cuerpo. Como hay varios músculos rectos, la expresión suele incluir una segunda palabra que designa la región precisa del organismo en la que se encuentran. El *músculo recto del abdomen* está en el abdomen y el *músculo recto femoral* en el muslo. **Transverso** y **oblicuo** son otros indicadores de dirección asignados a los músculos cuyas fibras crucen el eje longitudinal del cuerpo o formen con él un ángulo oblicuo.

A otros músculos se los conoce por algún rasgo estructural específico o insólito. Un músculo *bíceps* tiene dos tendones de origen (*bi-,* dos + *caput,* cabeza*),* el *tríceps* tiene tres y el *cuádriceps* cuatro. A veces, la forma proporciona una idea importante para calificar al músculo. Por ejemplo, los nombres *trapecio, deltoides, romboides* y *orbicular* remiten a otros tantos músculos destacados que guardan un parecido con un trapezoide, un triángulo, un rombo y un círculo, respectivamente. Los músculos largos reciben el propio nombre de **largos** o **longísimos** (larguísimos) y los músculos **redondos** son largos y redondeados. A los músculos cortos se les llama **cortos;** a los grandes **magno** (grande*),* **mayor** (más grande) o **máximo** (grandísimo) y, a los pequeños, **menor** (pequeño) o **mínimo** (pequeñísimo).

Los músculos visibles desde la superficie corporal son externos y a menudo se les denomina **externos** o **superficiales,** mientras que si están más hondos son músculos internos, y reciben el calificativo de **internos** o **profundos.** Los músculos superficiales que se encargan de situar o estabilizar un órgano se llaman músculos **extrínsecos;** los que operan en su interior, son los músculos **intrínsecos.**

Los nombres de muchos músculos identifican sus orígenes e inserciones. En tales casos, la primera parte indica el origen y la segunda la inserción. Por ejemplo, el *músculo geniogloso* se origina en el mentón *(geneion)* y se inserta en la lengua *(glossus).*

Los términos que contienen expresiones como *flexor, extensor, retractor,* etc., señalan la función principal del músculo. Como se trata de acciones muy frecuentes, casi siempre añaden otros datos acerca de su aspecto o su localización. Por ejemplo, el *músculo extensor radial largo del carpo* es un músculo largo presente a lo largo del borde radial (lateral) del antebrazo. Cuando se contrae, tiene la función básica de extender la muñeca.

El nombre de unos cuantos músculos corresponde a un movimiento específico asociado a algún oficio o costumbre especial. Por ejemplo, el *músculo sartorio* interviene en la maniobra de cruzar las piernas. Antes de inventarse las máquinas de coser, los sastres se sentaban sobre el suelo con las piernas cruzadas, y el músculo tomó su nombre de *sartor,* el término que en latín quiere decir «sastre». En la cara, el *músculo buccinador* comprime las mejillas, como sucede cuando se fruncen los labios y se sopla con energía. La palabra *buccinador* significa «trompetista». Por último, se supone que la denominación de otro músculo facial, el *músculo risorio,* deriva del estado de ánimo que expresa. Sin embargo, la palabra latina *risor* significa «reidor», mientras que la descripción más oportuna de sus efectos tendría que ver con «mueca».

Salvo el *platisma* y el *diafragma,* el nombre completo de todos los músculos estriados lleva en su designación la palabra *músculo.* Aunque en el texto utilizaremos por regla general la expresión íntegra, para ahorrar espacio y reducir el posible desorden, sólo emplearemos la porción descriptiva del nombre en las figuras acompañantes (*tríceps braquial,* en vez de *músculo tríceps braquial*).

Palancas y poleas: un diseño de sistemas para el movimiento [v. figuras 9.15/9.16]

Los músculos estriados no funcionan aislados. Cuando se fijan al esqueleto, la naturaleza de la conexión y el lugar que ocupe determinarán la fuerza, la velocidad y la amplitud de los movimientos generados. Estas características son interdependientes entre sí, y sus relaciones sirven para explicar muchas cosas sobre la organización global de los sistemas óseo y muscular.

Clases de palancas [v. figura 9.15]

La fuerza, la velocidad o la dirección del movimiento producido por la contracción de un músculo pueden modificarse si se le une a una palanca. La fuerza aplicada es el esfuerzo generado por la contracción muscular. A su acción se le opone una resistencia, que es la carga o el peso. Una **palanca** consiste en una estructura rígida, como una tabla, una pértiga o un hueso, que se mueve alrededor de un punto fijo llamado **fulcro.** En el cuerpo, cada hueso es una palanca y cada articulación un fulcro. El balancín de los parques, o subibaja, ofrece el ejemplo más conocido de la acción de una palanca. Las palancas pueden variar: 1) la dirección de la fuerza aplicada; 2) la distancia y la velocidad del movimiento originado por ella, y 3) su intensidad final.

Existen en el cuerpo humano tres clases de palancas que se especifican a continuación:

1. *Palancas de primera clase:* el balancín es un caso de **palanca de primera clase,** en la que el fulcro está situado entre la fuerza aplicada y la resisten-

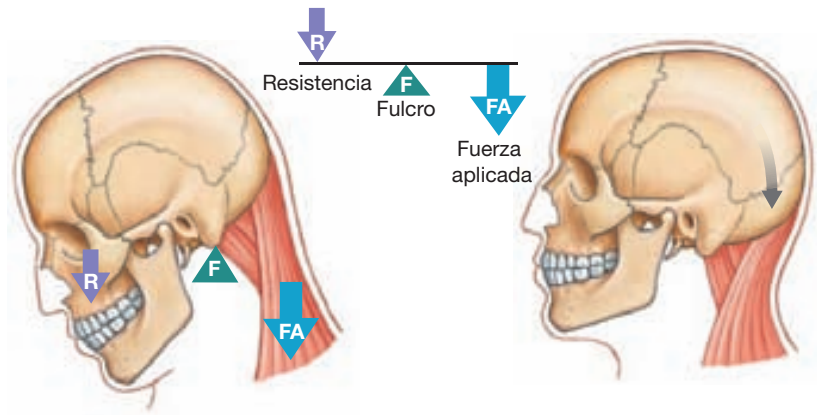


Figura 9.15 Las tres clases de palancas

Las palancas son estructuras rígidas que se mueven sobre un punto fijo llamado fulcro. **(a)** En una palanca de primera clase, la fuerza aplicada y la resistencia están en los dos lados opuestos del fulcro. Esta palanca puede modificar el grado de fuerza transmitido a la resistencia y cambiar la dirección y la velocidad del movimiento. **(b)** En una palanca de segunda clase, la resistencia se halla entre la fuerza aplicada y el fulcro. Esta disposición aumenta la fuerza a expensas de la distancia y la velocidad; la dirección del movimiento permanece invariable. **(c)** En una palanca de tercera clase, la fuerza se aplica entre la resistencia y el fulcro. Esta distribución aumenta la velocidad y la distancia recorrida, pero exige la aplicación de una fuerza mayor.

cia, tal como se observa en la **figura 9.15a**. En el organismo no hay muchos ejemplos de este tipo. La figura ofrece uno de ellos, en el que participan los músculos extensores del cuello.

2. *Palancas de segunda clase:* en una **palanca de segunda clase,** la resistencia separa la fuerza aplicada del fulcro. Un ejemplo famoso de este tipo lo constituye una carretilla cargada. El peso de la carga es la resistencia, y el impulso ascendente aplicado sobre el asa sería la fuerza. Como en esta disposición la fuerza siempre está más lejos del fulcro que la resistencia, cualquier fuerza más pequeña es capaz de compensar un peso mayor. Dicho de otro modo, la fuerza se amplía. Sin embargo, fíjese en que cuando la fuerza moviliza el asa, la resistencia se desplaza a menor velocidad y cubre una distancia más corta. En el cuerpo hay pocos casos de palancas de segunda clase. Al realizar la flexión plantar, los músculos de la pantorrilla se sirven de una de ellas (**v. figura 9.15b**).
3. *Palancas de tercera clase:* en un sistema de **palanca de tercera clase,** la fuerza se aplica entre la resistencia y el fulcro (**v. figura 9.15c**). Este tipo es el más frecuente del organismo. Dicha disposición tiene el efecto inverso al producido por una palanca de segunda clase: la velocidad y la distancia recorrida crecen a expensas de la fuerza. En el ejemplo representado (el músculo bíceps braquial, que flexiona el codo), la resistencia está seis veces más lejos del fulcro que la fuerza aplicada. El músculo bíceps braquial es capaz de ejercer una fuerza efectiva de 180 kg, que en sus circunstancias concretas descenderá a 30 kg. Sin embargo, el espacio atravesado y la velocidad del movimiento *aumentan* en la misma proporción (6:1). La resistencia avanza 45 cm mientras que el punto de inserción sólo se mueve 7,5 cm.

Aunque no todos los músculos operan formando parte de un sistema de palancas, su presencia aporta una velocidad y una versatilidad mucho mayor que lo que cabría pronosticar apelando a la fisiología muscular en solitario. Los miocitos estriados se parecen mucho entre sí, y su capacidad de contraerse y generar una tensión es bastante similar. Piense en un músculo estriado que pueda contraerse en 500 ms y acortarse 1 cm ejerciendo una tracción de 10 kg. Sin una palanca, tendría un funcionamiento eficiente sólo al desplazar 10 kg de peso una distancia de 1 cm. Pero como puede disponer de ella, el mismo músculo actuando con la misma eficiencia podría llevar 20 kg por un espacio de 0,5 cm, 5 kg un tramo de 2 cm o 1 kg a lo largo de 10 cm. Por tanto, el diseño del sistema de palancas produce los máximos movimientos con la mayor eficiencia posible.

Poleas anatómicas [v. figura 9.16]

Muchas veces se emplean poleas mecánicas para modificar la dirección de una fuerza con el fin de ejecutar una tarea con mayor facilidad y eficiencia. En un velero, los marineros tiran de una soga hacia abajo para izar las velas. La vela sube porque una polea situada en la punta del mástil cambia la dirección de la fuerza aplicada sobre la cuerda. De forma análoga, las banderas *ascienden* por su asta cuando *desciende* la cuerda porque su trayecto atraviesa una polea al final del poste (**v. figura 9.16a**). En el cuerpo, los tendones actúan como cables que transmiten las fuerzas producidas por una contracción muscular. El camino adoptado por un tendón puede variar debido a la presencia de huesos o eminencias óseas. Estas estructuras, que cambian la dirección de la fuerza aplicada, se denominan **poleas anatómicas.**

El maléolo lateral del peroné es un ejemplo de una polea anatómica. El tendón de inserción del músculo peroneo largo no sigue un trayecto directo. En vez de eso, toma una curva alrededor de su borde posterior. Esta desviación de la fuerza contráctil resulta esencial para el funcionamiento normal del músculo: realizar la flexión plantar en el tobillo (**v. figura 9.16b**).

La rótula es otro caso de polea anatómica. El *cuádriceps femoral* está formado por un grupo de cuatro músculos que constituyen la musculatura anterior del muslo. Todos ellos se insertan en la rótula mediante el tendón del cuádriceps. A su vez, la rótula se fija a la tuberosidad tibial a través del ligamento rotuliano. El músculo cuádriceps femoral produce la extensión en la rodilla por este sistema de doble conexión. Tal como está representado en la **figura 9.16c**, la rótula actúa como una polea anatómica al extender la rodilla flexionada. El tendón del cuádriceps tira de ella en una misma dirección durante todo el movimiento, pero la fuerza aplicada sobre la tibia por el ligamento rotuliano varía constantemente de dirección a medida que sigue su desarrollo.

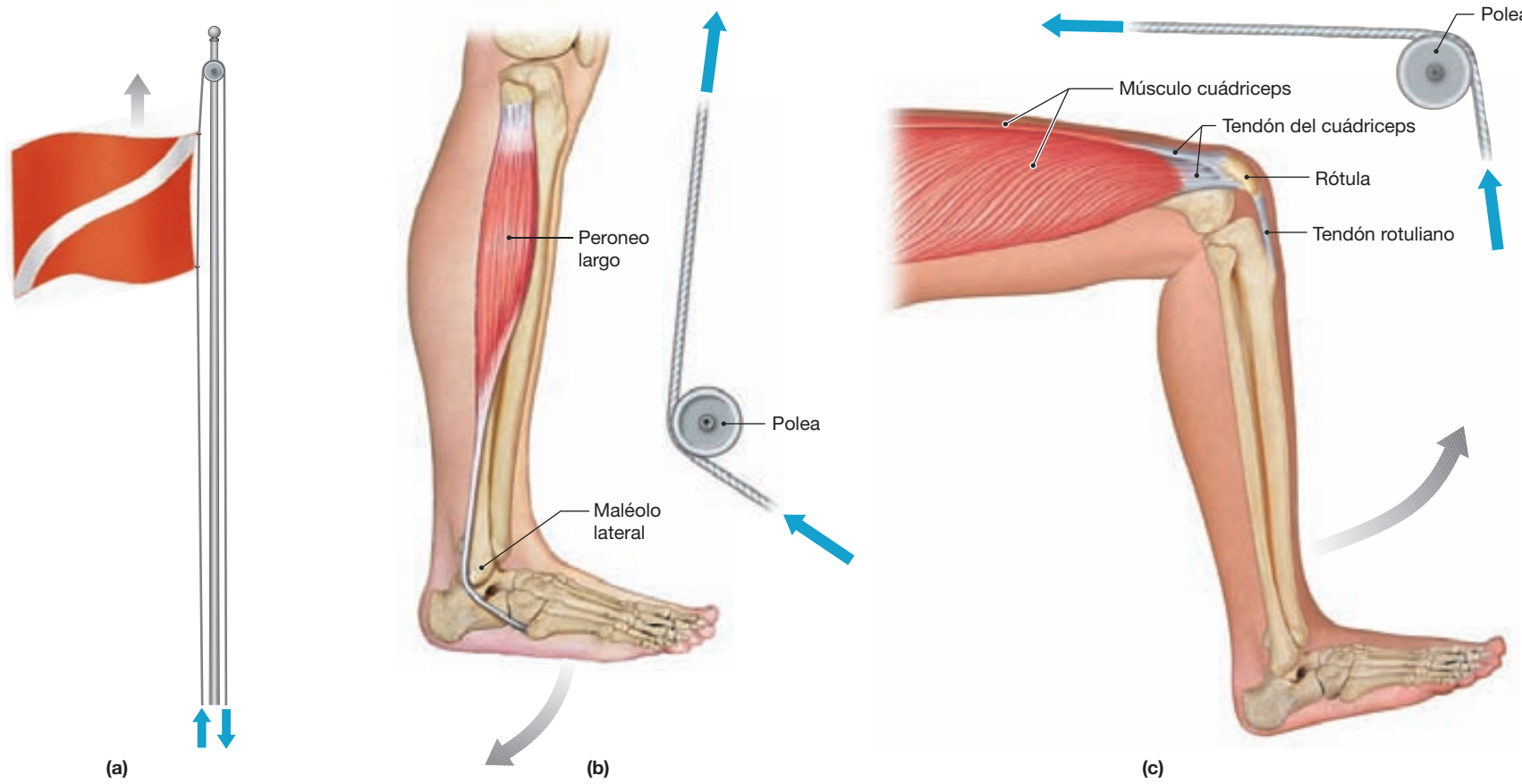


Figura 9.16 Poleas anatómicas
(a) Las estructuras óseas que modifican la dirección de las fuerzas aplicadas, como hace la polea al final del asta de una bandera, se denominan poleas anatómicas. **(b)** El maléolo lateral del peroné actúa como una polea anatómica en el funcionamiento normal del peroneo largo para producir la flexión plantar del tobillo. **(c)** La rótula actúa como una polea anatómica para producir la extensión de la rodilla por el músculo cuádriceps femoral.

Envejecimiento y sistema muscular

Al envejecer el cuerpo, todos los tejidos musculares experimentan una reducción generalizada de su tamaño y su potencia. Los efectos ejercidos por la edad sobre el sistema muscular pueden resumirse de la manera siguiente:

1. Las *fibras musculares estriadas pierden diámetro:* esta disminución de tamaño corresponde sobre todo a un descenso en el número de miofibrillas. Además, baja su contenido de ATP, sus reservas de glucógeno y la mioglobina. El efecto global es una reducción en la fuerza y la resistencia muscular, y una tendencia a cansarse rápidamente. Como la actividad cardiovascular también desciende con la edad, el flujo sanguíneo de los músculos activos no crece con el ejercicio a la misma velocidad que en las personas más jóvenes.
2. Los *músculos estriados pierden diámetro y elasticidad:* los músculos estriados envejecidos adquieren una cantidad creciente de tejido conjuntivo fibroso, proceso denominado **fibrosis.** La fibrosis resta flexibilidad, y las fibras colágenas pueden restringir el movimiento y la circulación.
3. *Disminuye la tolerancia hacia el ejercicio:* la menor tolerancia hacia el ejercicio en parte obedece a la citada tendencia a cansarse pronto y en parte a la menor capacidad para disipar el calor generado durante la contracción muscular [pp. 105, 238].
4. *Se reduce la capacidad de recuperación tras una lesión muscular:* la cantidad de células miosatélite disminuye constantemente con la edad, y crece la proporción de tejido fibroso. Por consiguiente, cuando se produce una lesión, hay una escasa capacidad de reparación, y el resultado habitual es la formación de tejido cicatricial.

El ritmo que sigue el declive en el rendimiento muscular es el mismo en todas las personas, con independencia de sus hábitos de ejercicio y su estilo de vida. Por tanto, para estar en buena forma al final de la vida, hay que estar en muy buena forma al principio. El ejercicio con regularidad sirve para controlar el peso corporal, fortalecer los huesos y en general mejora la calidad de vida a cualquier edad. No importa tanto que el ejercicio sea sumamente exigente como que sea constante. De hecho, en el anciano su intensidad puede dar lugar a problemas tendinosos, óseos y articulares. Aunque el ejercicio produzca unos efectos evidentes sobre la calidad de vida, tampoco hay pruebas claras de que prolongue la esperanza de vida.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué le dice acerca de un músculo el nombre de *flexor largo de los dedos*?
2. Describa la diferencia entre el origen y la inserción de un músculo.
3. ¿Qué tipo de músculo es un sinérgico?
4. ¿Cuál es la diferencia entre las designaciones *mayor* y *menor* aplicadas a un músculo?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Triquinosis La **triquinosis** (*trichos,* pelo + *nosos,* enfermedad) es un proceso derivado de la infección por el nematodo parásito *Trichinella spiralis.* Sus síntomas incluyen diarrea, debilidad y mialgias, y están ocasionados por la invasión del tejido muscular estriado por las larvas del gusano, que crean pequeñas bolsas dentro del perimisio y el endomisio (**v. figura 9.17**).

Las larvas de *Trichinella* son frecuentes en la carne de los cerdos, los caballos, los perros y otros mamíferos, y para destruirlas hay que cocinarla. Las personas se encuentran más expuestas si comen cerdo infectado poco hecho. Una vez consumido, las larvas maduran en el tubo digestivo humano, donde se aparean y producen huevos. A continuación, las nuevas generaciones de larvas penetran en el sistema linfático y cardiovascular y emigran por todos los tejidos corporales hasta llegar a los músculos estriados muy vascularizados, donde completan su desarrollo inicial. Las larvas se instalan en los músculos estriados con un metabolismo más activo, y por eso afectan con mayor frecuencia a la lengua, los ojos, el diafragma, el tórax y las piernas.

La emigración y su posterior asentamiento producen dolor generalizado, mialgias y artralgias, e inflamación de los tejidos infectados. Se calcula que 1,5 millones de estadounidenses llevan *Trichinella* en sus músculos, y todos los años surgen hasta 300.000 nuevas infecciones. La mortalidad es más o menos del 1% entre aquellas personas cuyos síntomas tengan la suficiente gravedad como para necesitar tratamiento.

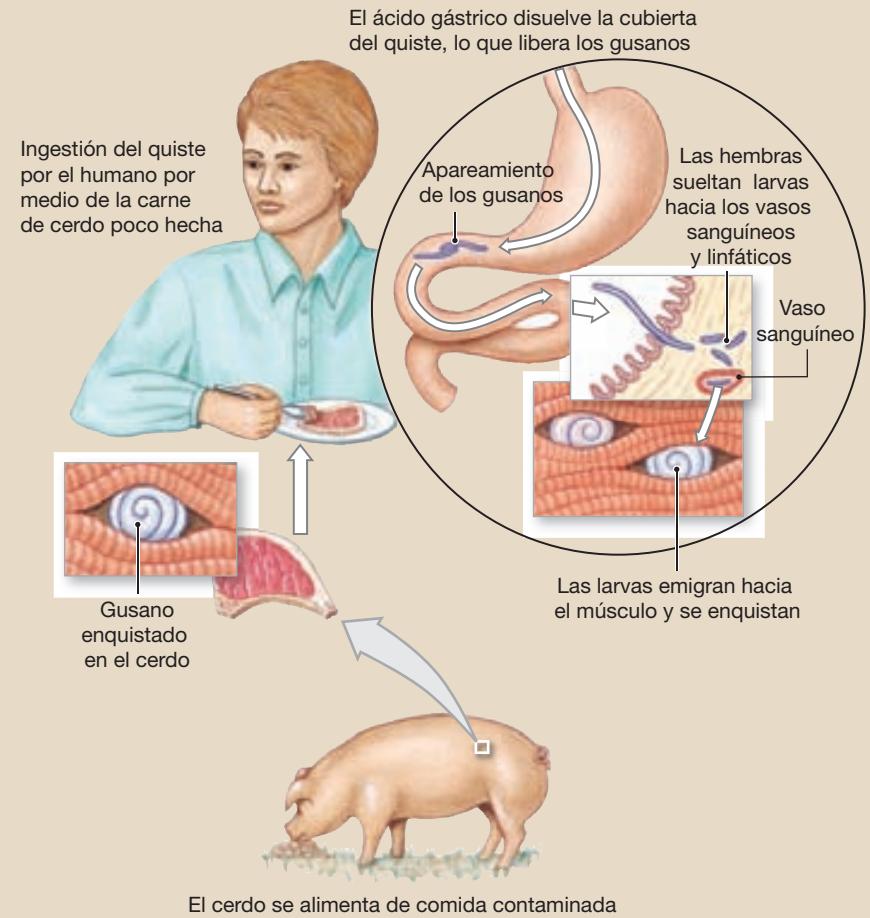

El ácido gástrico disuelve la cubierta del quiste, lo que libera los gusanos
Ingestión del quiste por el humano por medio de la carne de cerdo poco hecha
Apareamiento de los gusanos
Las hembras sueltan larvas hacia los vasos sanguíneos y linfáticos
Vaso sanguíneo
Las larvas emigran hacia el músculo y se enquistan
Gusano enquistado en el cerdo
El cerdo se alimenta de comida contaminada

Figura 9.17 Ciclo vital de *Trichinella spiralis*

TÉRMINOS CLÍNICOS

distrofia muscular: Grupo de varios procesos congénitos caracterizados por una debilidad muscular generalizada, más evidente en las extremidades superiores, la cabeza y el tórax; ocasionada por un descenso en el número de receptores para la ACh presentes en las placas motoras.

fibrosis: Proceso en el que se forma una cantidad creciente de tejido conjuntivo fibroso, lo que resta flexibilidad a los músculos.

miastenia grave: Enfermedad que produce una debilidad muscular progresiva debida a la desaparición de receptores para la ACh en la placa motora.

poliomielitis: Parálisis progresiva debida a la destrucción de las motoneuronas del SNC por el virus de la poliomielitis.

rigidez cadavérica: Estado posterior a la muerte durante el cual los músculos quedan bloqueados en su posición contraída, lo que vuelve el cadáver tremendamente rígido.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 238

1. Hay tres tipos de tejido muscular: **músculo estriado, músculo cardíaco** y **músculo liso.** El sistema muscular comprende todo el tejido muscular estriado que puede someterse a un control voluntario.

Funciones del músculo estriado 238

1. Los **músculos estriados** mantienen una unión directa o indirecta con los huesos, y cumplen las siguientes funciones: 1) movimiento del esqueleto; 2) conservación de la postura y la posición del cuerpo; 3) sostén de los tejidos blandos; 4) regulación de la entrada y la salida de sustancias, y 5) mantenimiento de la temperatura corporal.

Anatomía de los músculos estriados 238

Anatomía macroscópica 238

1. Cada fibra muscular está envuelta por tres capas concéntricas de tejido conjuntivo: un **epimisio,** un **perimisio** y un **endomisio.** En los extremos del músculo están los **tendones** o **aponeurosis** que fijan el músculo a otras estructuras *(v. figura 9.1).*

2. La comunicación entre una neurona y una fibra muscular ocurre a través de una **unión** *(sinapsis)* **neuromuscular** *(v. figura 9.2)*.

Microanatomía de las fibras musculares estriadas 240

3. Un miocito estriado tiene una membrana celular, o **sarcolema;** un citoplasma, o **sarcoplasma;** y un sistema interno de membranas, o **retículo sarcoplásmico (RS**), semejante al retículo endoplásmico de otras células *(v. figura 9.3)*.
4. Un miocito estriado es grande y multinucleado. Las invaginaciones, o profundas hendiduras, del sarcolema en el sarcoplasma del miocito estriado se denominan **túbulos transversales (en T).** Los túbulos transversales transportan el impulso eléctrico que estimula la contracción en el sarcoplasma, que contiene numerosas **miofibrillas.** Los filamentos proteínicos contenidos dentro de una miofibrilla siguen una organización en unidades funcionales repetidas llamadas **sarcómeros.**
5. Los **miofilamentos** forman miofibrillas, que constan de **filamentos delgados** y **filamentos gruesos** *(v. figuras 9.3 a 9.6)*.

Contracción muscular 245

Teoría del filamento deslizante 245

1. La **teoría del filamento deslizante** sobre la contracción muscular explica cómo una fibra muscular ejerce **tensión** (una tracción) y se acorta *(v. figura 9.7)*.
2. El proceso de contracción en cuatro pasos cuenta con unos **lugares activos** en los filamentos finos y unos **puentes cruzados** en los filamentos gruesos. El deslizamiento conlleva un ciclo de «unión, basculación, desprendimiento y regreso» para los puentes de miosina. En reposo, las proteínas asociadas de los filamentos finos **tropomiosina** y **troponina** impiden las interacciones necesarias *(v. figuras 9.5/9.7)*.
3. La contracción es un proceso activo, pero el alargamiento de una fibra muscular es un proceso pasivo que puede suceder por la acción de las fuerzas elásticas o por el movimiento de otros músculos opuestos.
4. El grado de tensión producido durante una contracción es proporcional al grado de solapamiento entre los filamentos gruesos y finos *(v. figura 9.8)*.

Control nervioso de la contracción de las fibras musculares 246

5. El control nervioso del funcionamiento muscular entraña un vínculo entre la liberación de sustancias químicas por las neuronas y la actividad eléctrica en el sarcolema que lleva al inicio de una contracción.
6. Cada fibra muscular está controlada por una neurona en una *sinapsis (unión) neuromuscular;* la sinapsis comprende el **terminal sináptico,** las **vesículas sinápticas** y la **hendidura sináptica.** La liberación de **acetilcolina (ACh)** da lugar a la estimulación de la placa motora y a la generación de impulsos eléctricos que se propagan por el sarcolema. La **acetilcolinesterasa (AChE)** descompone la ACh y limita la duración de la estimulación *(v. figuras 9.2/9.10)*.

Contracción muscular: resumen 246

7. Los pasos que intervienen en la contracción son los siguientes: liberación de ACh desde las vesículas sinápticas → unión de la ACh a la placa motora → generación de un impulso eléctrico en el sarcolema → conducción del impulso a lo largo de los túbulos T → emisión de iones de calcio por el RS → exposición de los lugares activos en los filamentos finos → formación de puentes cruzados y contracción *(v. figura 9.11)*.

Unidades motoras y control muscular 248

1. El número y el tamaño de las **unidades motoras** de un músculo indican la precisión en el control de sus movimientos *(v. figura 9.12)*.
2. Cada contracción independiente y transitoria de un músculo se denomina **fasciculación** y es la respuesta a un estímulo aislado.
3. Cada fibra muscular o se contrae por completo o no lo hace en absoluto. Esta característica se denomina *principio del todo o nada.*

Tono muscular 249

4. Incluso cuando un músculo se encuentra en reposo, sus unidades motoras son estimuladas al azar, de manera que se mantiene una tensión constante en la inserción tendinosa. Esta tensión de los músculos estriados en reposo se denomina **tono muscular.** El tono muscular en reposo estabiliza los huesos y las articulaciones.

Hipertrofia muscular 249

5. La estimulación constante y excesiva que produce una tensión en el músculo estriado cercana a sus valores máximos puede dar lugar a una **hipertrofia** (aumento) de los músculos en cuestión.

Atrofia muscular 249

6. La estimulación insuficiente para mantener el tono muscular de reposo vuelve a los músculos flácidos y hace que sufran una **atrofia.**

Tipos de fibras musculares estriadas 249

1. Los tres tipos de fibras musculares estriadas son las *fibras rápidas,* las *fibras lentas* y las *fibras intermedias (v. figura 9.13)*.
2. Las **fibras rápidas** tienen un diámetro grande; contienen miofibrillas muy apretadas, unas reservas abundantes de glucógeno y una cantidad relativamente baja de mitocondrias. Producen unas contracciones rápidas y potentes de duración relativamente breve.
3. Las **fibras lentas** tienen un diámetro que sólo mide más o menos la mitad que el de las rápidas, y tardan el triple de tiempo en contraerse desde su estimulación. Este tipo está especializado en dejar que mantengan esa contracción durante un período prolongado.
4. Las **fibras intermedias** son muy parecidas a las fibras rápidas, aunque poseen una resistencia superior al cansancio.

Distribución de las fibras rápidas, lentas e intermedias 250

5. El porcentaje de fibras musculares rápidas, lentas e intermedias varía de un músculo estriado a otro. Los músculos contienen una mezcla de tipos, aunque todas las fibras de cada unidad motora sean de la misma clase. La genética determina el porcentaje de las fibras rápidas frente a las lentas en cada músculo.

Organización de las fibras musculares estriadas 251

1. Un músculo puede clasificarse según la disposición de sus fibras y fascículos como un *músculo paralelo,* un *músculo convergente,* un *músculo penniforme* y un *músculo circular (esfínter)*.

Músculos paralelos 251

2. En un **músculo paralelo,** los fascículos van paralelos al eje longitudinal de toda su masa. La mayor parte de los músculos estriados del organismo son músculos paralelos, por ejemplo, el *músculo bíceps braquial (v. figura 9.14a)*.

Músculos convergentes 251

3. En un **músculo convergente,** las fibras musculares toman su origen en una región amplia, pero todas se reúnen en un mismo punto de inserción común. El *grupo pectoral* del tórax es un buen ejemplo de este tipo de músculo *(v. figura 9.14b)*.

Músculos penniformes 252

4. En un **músculo penniforme,** el cuerpo muscular está recorrido por un tendón o por varios, y los fascículos forman un ángulo oblicuo con su trayecto. La contracción de los músculos penniformes genera más tensión que la de los músculos paralelos de idénticas dimensiones. Un músculo penniforme puede ser **unipenniforme, bipenniforme** o **multipenniforme** *(v. figura 9.14c-e)*.

Músculos circulares 252

5. En un **músculo circular (esfínter**), las fibras adoptan una disposición concéntrica alrededor de un orificio o de un hueco *(v. figura 9.14f)*.

Terminología de los músculos 253

Orígenes e inserciones 253

1. Cada músculo puede identificarse por su **origen,** su **inserción** y su **acción** fundamental. Proverbialmente, el *origen* es el extremo que permanece fijo y la *inserción* el que se desplaza, o el origen ocupa un lugar proximal a la inserción. La contracción muscular produce una acción específica.

Acciones 253

2. Un músculo puede clasificarse como **músculo agonista** o **principal, sinérgico** o **antagonista.**

Nombres de los músculos estriados 254

3. Los nombres de los músculos suelen ofrecer pistas sobre su localización, su orientación o su función *(v. tabla 9.2)*.

Palancas y poleas: un diseño de sistemas para el movimiento 254

1. Una **palanca** consiste en una estructura rígida que se mueve alrededor de un punto fijo llamado **fulcro.** Las palancas pueden variar la dirección, la velocidad o la distancia de los movimientos musculares, y modificar la fuerza aplicada al movimiento.

Clases de palancas 254

2. Las palancas pueden clasificarse como **de primera clase, de segunda clase** o **de tercera clase:** las palancas de tercera clase son el tipo de palanca más frecuente en el organismo *(v. figura 9.15)*.

Poleas anatómicas 255

3. Las estructuras que cambian la dirección de la fuerza contráctil de un músculo se denominan **poleas anatómicas.** El maléolo lateral del peroné y la rótula son ejemplos excelentes de poleas anatómicas *(v. figura 9.16)*.

Envejecimiento y sistema muscular 256

1. El proceso de envejecimiento reduce el tamaño, la elasticidad y la potencia de todos los tejidos musculares. La tolerancia al ejercicio y la capacidad de recuperación tras una lesión muscular disminuyen al envejecer el cuerpo.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. Cada uno de los siguientes cambios sufridos en los músculos estriados es una consecuencia del envejecimiento excepto:
   (a) las fibras musculares pierden diámetro
   (b) los músculos pierden elasticidad
   (c) las fibras musculares aumentan sus reservas de glucógeno
   (d) el número de células miosatélite disminuye

2. Los lugares activos de la actina quedan preparados para su unión cuando:
   (a) el calcio se liga a la troponina
   (b) la troponina se liga a la tropomiosina
   (c) el calcio se liga a la tropomiosina
   (d) la actina se liga a la troponina

3. La función de una sinapsis neuromuscular es:
   (a) generar nuevas fibras musculares si el músculo está lesionado
   (b) facilitar la comunicación química entre una neurona y una fibra muscular
   (c) unir entre sí los ramos motores de los nervios correspondientes a diferentes fibras musculares
   (d) aportar información a los nervios sensitivos sobre la actividad muscular

4. El suministro directo de energía producido en los músculos estriados para poder contraerse:
   (a) deriva de la grasa, los carbohidratos y el colesterol
   (b) es independiente de la llegada de oxígeno
   (c) corresponde a ATP
   (d) es infinito, en función de las necesidades impuestas por la actividad muscular

5. En un músculo penniforme, las fibras:
   (a) tienen su origen en una región amplia
   (b) adoptan una disposición concéntrica
   (c) son oblicuas al tendón
   (d) son paralelas al tendón

6. Un nombre alternativo para el músculo principal es:
   (a) agonista
   (b) antagonista
   (c) sinérgico
   (d) ninguno de los anteriores

7. Las interacciones entre los filamentos de actina y miosina del sarcómero son responsables:
   (a) del cansancio muscular
   (b) de la conducción de la información nerviosa hasta la fibra muscular
   (c) de la contracción muscular
   (d) del aspecto rayado del músculo estriado

8. La teoría que explica la contracción muscular se conoce con el nombre oficial de:
   (a) teoría de la contracción muscular
   (b) teoría del músculo voluntario estriado
   (c) teoría de la cabeza de miosina rotatoria
   (d) teoría del filamento deslizante

9. El haz de fibras colágenas que fija un músculo estriado al hueso desde su extremo se denomina:
   (a) fascículo
   (b) tendón
   (c) ligamento
   (d) epimisio

10. Todas las fibras musculares controladas por una sola motoneurona constituyen:
    (a) un fascículo
    (b) una miofibrilla
    (c) una unidad motora
    (d) ninguna de las anteriores

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Para frenar la velocidad con la que se cansan los músculos durante una contracción, las unidades motoras se activan:
   (a) sin alcanzar su tensión máxima cada vez que se contraen
   (b) por pasos
   (c) por orden rotatorio
   (d) con rapidez, para acabar la contracción antes de agotarse

2. Las personas mayores tienen menor capacidad de recuperarse de las lesiones porque:
   (a) el número de células miosatélite desciende con la edad
   (b) las células miosatélite pierden tamaño
   (c) crece la cantidad de tejido fibroso en el músculo
   (d) b y c son correctas

3. ¿Cuál de los siguientes músculos tendría mayor proporción de motoneuronas que de fibras musculares?
   (a) los músculos grandes de los brazos
   (b) los músculos posturales de la espalda
   (c) los músculos que controlan los ojos
   (d) los músculos de las piernas

4. Si una persona tiene frío, un buen modo de entrar en calor consiste en hacer ejercicio. ¿Cuál es el mecanismo de este proceso?
   (a) el movimiento más rápido impide que la persona sienta el aire frío porque lo desplaza a su alrededor a mayor velocidad
   (b) el ejercicio acelera el movimiento de la sangre, y su rozamiento mantiene calientes los tejidos
   (c) la contracción muscular utiliza ATP, y el empleo de esta energía genera calor, lo que sirve para calentar el cuerpo
   (d) el movimiento de los filamentos de actina y miosina durante la contracción genera calor, lo que sirve para calentar el cuerpo

5. ¿Qué dicen sobre los músculos los siguientes nombres: *recto, externo, flexor, trapecio*?

6. Resuma la secuencia de fenómenos básica que acontece en una sinapsis neuromuscular.

7. ¿Cuál es la función del tejido conjuntivo en la organización del músculo estriado?

8. Una unidad motora de un músculo estriado contiene 1.500 fibras musculares. ¿Este músculo participará en movimientos finos y delicados o potentes y amplios? Explique su respuesta.

9. ¿Cuál es la función de la zona de solapamiento en la producción de tensión por un músculo estriado?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Tom se rompió la pierna en un partido de fútbol, y tras pasar 6 semanas escayolado, por fin le han quitado el yeso. Tras ello, al bajarse de la mesa, pierde el equilibro y se cae. ¿Por qué?

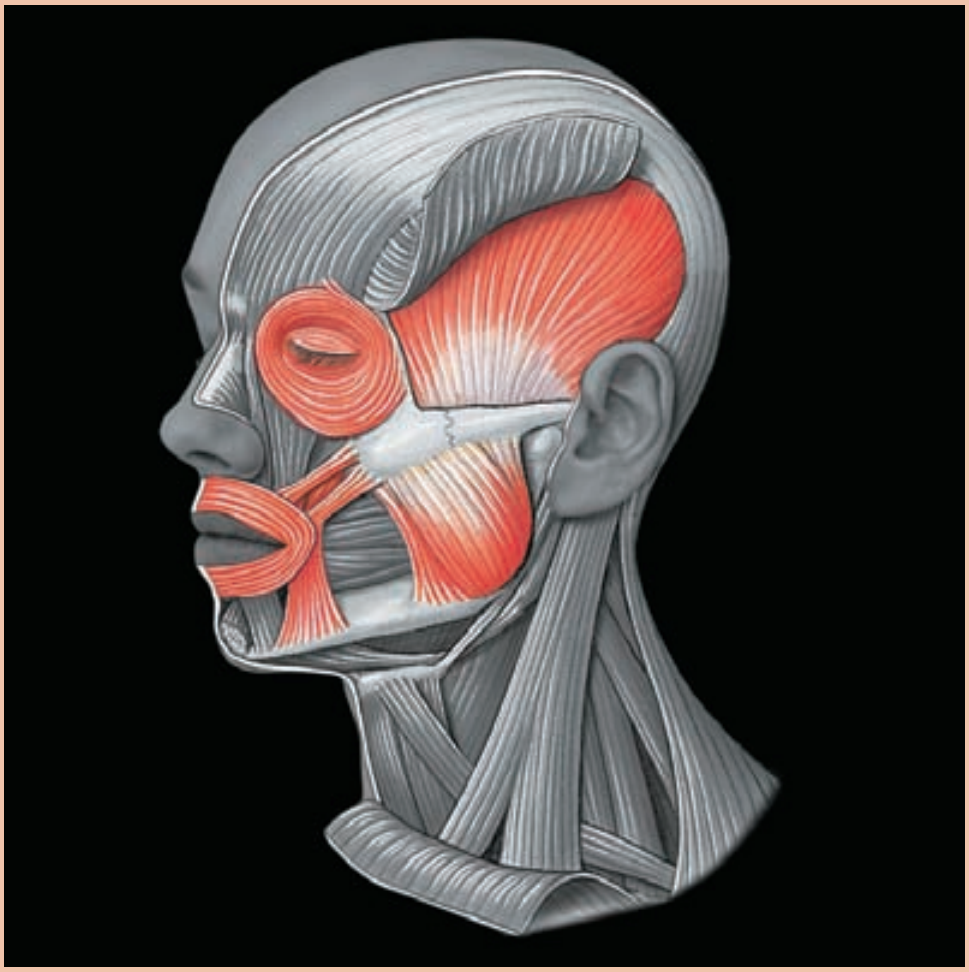
2. Varios estudiantes de anatomía se apuntan a halterofilia y culturismo. Pasados varios meses, perciben muchos cambios físicos, como un aumento de la masa muscular y el peso magro del cuerpo, y una mayor fuerza muscular. ¿Qué mecanismo anatómico es el responsable de estas transformaciones?

3. A lo largo de los 10-20 últimos años, varios países han adoptado la costumbre de tomar una biopsia de los músculos de la pierna a los atletas de pista, con el afán de determinar sus posibilidades de éxito en las competiciones de velocidad o de fondo. ¿Qué hecho anatómico ofrece la base de esta hipótesis?

10

Sistema muscular

Musculatura de la cabeza y del tronco



Introducción 262

Musculatura de la cabeza y del tronco 262

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Identificar los principales músculos de la cabeza y el tronco y localizarlos en el cuerpo, además de sus orígenes e inserciones, y describir su inervación y sus acciones.

La separación del sistema óseo entre la cabeza y el tronco por un lado y las extremidades por otro ofrece una pauta útil que también sirve para subdividir el sistema muscular. La **musculatura de la cabeza y el tronco** se origina en el esqueleto de estas regiones. Con su acción, coloca la cabeza y la columna vertebral en posición, y colabora en la respiración al mover la parrilla costal. Los músculos de la cabeza y el tronco no intervienen en el movimiento de las cinturas escapular o pélvica y de las extremidades, ni tampoco en su estabilización. Más o menos el 60% de los músculos estriados que componen el cuerpo pertenecen a la cabeza y al tronco. La **musculatura de las extremidades** estabiliza o desplaza los elementos que integran su esqueleto. Los principales músculos de la cabeza y el tronco y de las extremidades están representados en las **figuras 10.1** y **10.2**. Aunque en casi todos los casos la palabra *músculo* forma parte de cada uno de los nombres oficiales, no aparece incluida en los rótulos de la figura.

Musculatura de la cabeza y del tronco

[v. figuras 10.1/10.2]

La musculatura de la cabeza y del tronco participa en los movimientos de la cabeza y de la columna vertebral. Como la explicación de esta musculatura depende claramente de haber entendido la anatomía del esqueleto, según se avance en la lectura del texto puede resultar útil efectuar un repaso de las figuras correspondientes en los capítulos 6 y 7. En cada caso, a lo largo de las próximas páginas se señalan en el pie de cada figura las imágenes en cuestión pertenecientes a los citadosc apítulos.

Desde un punto de vista lógico, los músculos de la cabeza y del tronco se distribuyen en cuatro grupos según su localización y/o su función. Estos grupos no siempre presentan unos límites anatómicos nítidos. Por ejemplo, una acción como la extensión de la columna vertebral involucra músculos a lo largo de toda su longitud.

1. El primer grupo abarca los *músculos de la cabeza y del cuello* que no tienen nada que ver con la columna vertebral. Entre ellos figuran los que están encargados de mover la cara, la lengua y la laringe. Todos ellos son los responsables de la comunicación de tipo oral y no oral, pues actúan en cir-

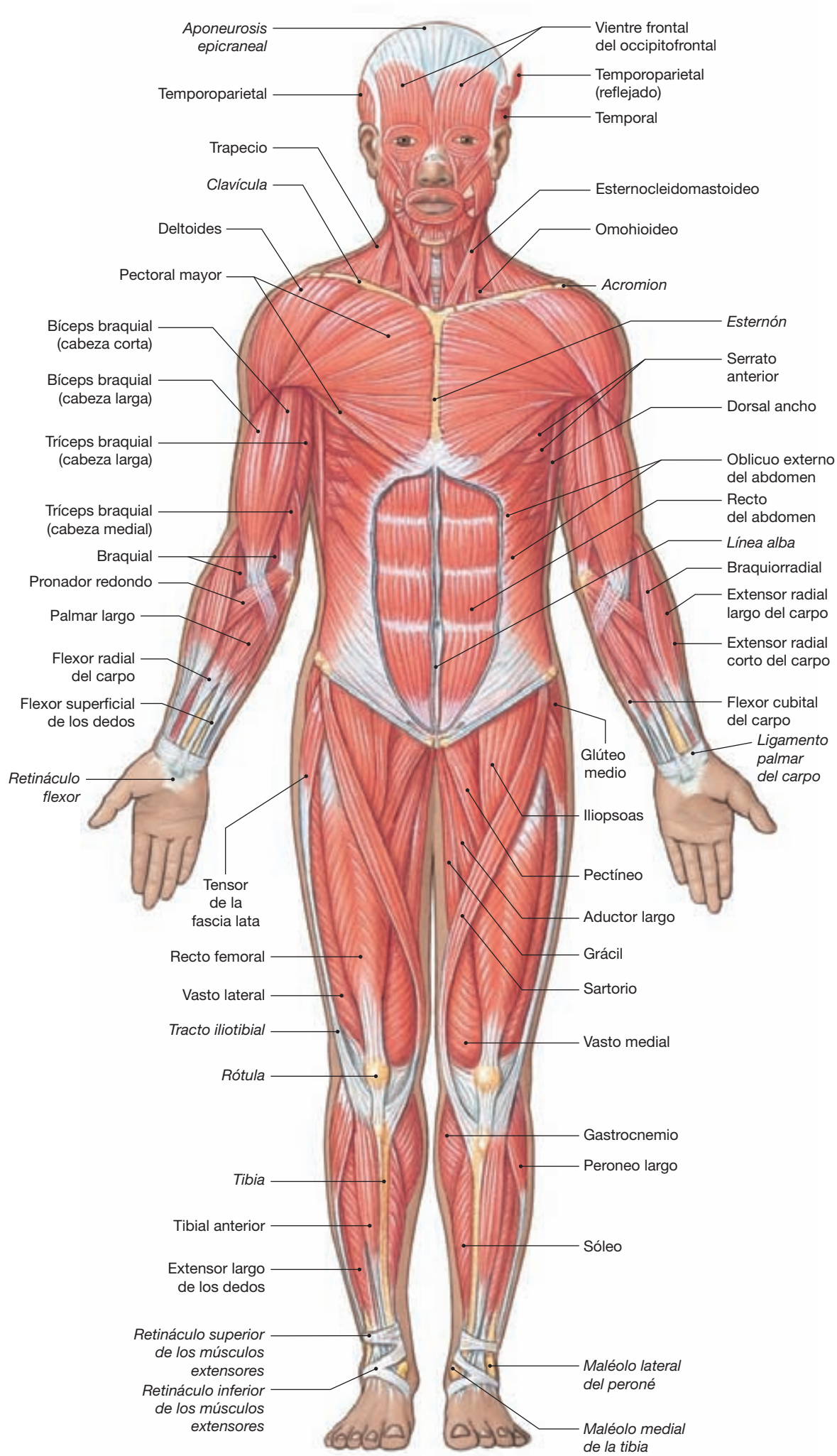
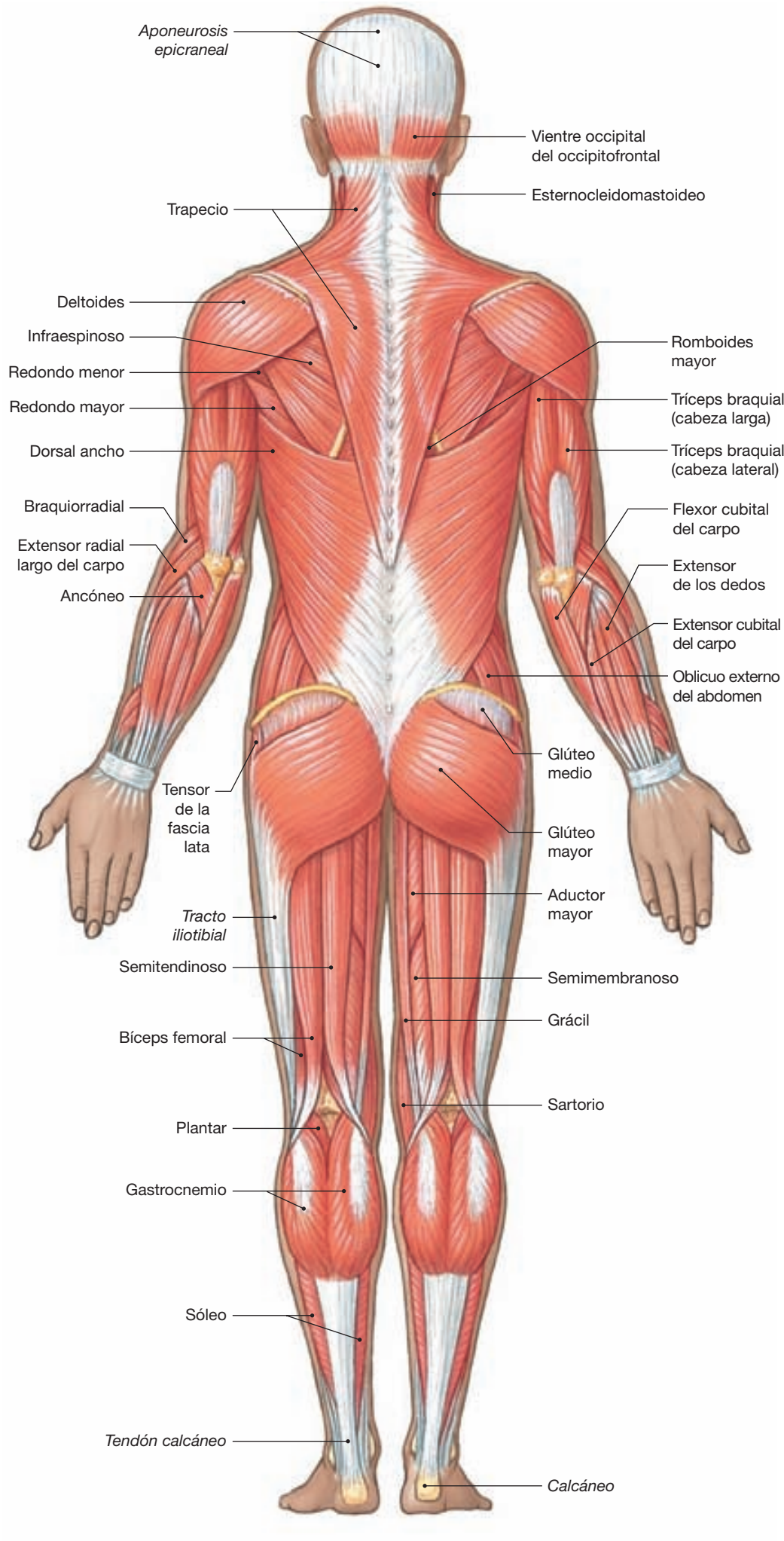


Figura 10.1 Músculos estriados superficiales, vista anterior
Vista esquemática de los principales músculos de la cabeza y el tronco y de las extremidades.



cunstancias como reírse, hablar, fruncir el ceño, sonreír y silbar. Este grupo de músculos también efectúa movimientos asociados a la alimentación, como aspirar, masticar o tragar, y las contracciones de los músculos oculares que nos sirven para buscar algo de comer a nuestro alrededor.

2. El segundo grupo, los *músculos de la columna vertebral,* comprende numerosos flexores y extensores para el esqueleto de la cabeza y del tronco.
3. El tercer grupo, los *músculos oblicuos* y *rectos,* forma la pared muscular correspondiente a las cavidades torácica y abdominopélvica, desde la primera vértebra torácica hasta la pelvis. En la región torácica, estos músculos están divididos por las costillas, pero en la superficie del abdomen configuran amplias láminas musculares. También hay músculos oblicuos y rectos en el cuello. Aunque no constituyen una pared muscular completa, se les incluye en este grupo porque comparten el mismo origen embrionario. El diafragma también se sitúa dentro de este grupo porque se encuentra vinculado a los demás músculos de la pared torácica por razón de su desarrollo.
4. El cuarto grupo, los *músculos del periné* y *el diafragma pélvico,* saltan desde el sacro hasta la cintura pélvica y cierran el estrecho inferior de la pelvis [pp. 192-193].

Las **figuras 10.1** y **10.2** proporcionan una visión general sobre los principales músculos de la cabeza y el tronco y de las extremidades en el cuerpo humano. En ellas, están representados los músculos superficiales, que tienden a ser relativamente grandes. Su masa cubre a los músculos más profundos y pequeños, que no quedan a la vista mientras no se supriman o *reflejen* los que están sobre ellos, es decir, se corten y desplacen hacia fuera. Las figuras posteriores muestran los músculos profundos de cada región específica e indicarán si se han suprimido o rebatido los más superficiales por razones de claridad.

Para facilitar el proceso de estudio, la información concerniente al origen, la inserción y la acción de cada músculo se ha resumido en tablas. Estas tablas también contienen datos sobre la *inervación* que reciben. El término **inervación** designa los nervios que llegan a una estructura o un órgano determinado, y el nervio o los nervios motores que controlan a cada músculo estriado. Los nombres de los nervios aportan pistas sobre su distribución o sobre su lugar de salida desde la cavidad craneal o el conducto vertebral. Por ejemplo, el *nervio facial* inerva la musculatura facial, y los diversos *nervios espinales* abandonan el conducto vertebral a través de los agujeros intervertebrales [pp. 162, 166]. Como instrumento de ayuda para entender las relaciones que guardan los músculos de la cabeza y del tronco con los huesos del esqueleto, hemos añadido unos iconos sobre cada hueso, que ofrecen el origen y la inserción de los músculos más representativos dentro de cada grupo. En todos los casos, las zonas de origen muscular aparecen en rojo y las de inserción en azul.

Músculos de la cabeza y del cuello

Los músculos de la cabeza y del cuello pueden subdividirse en varios grupos. Los *músculos de la expresión facial,* los

Figura 10.2 Músculos estriados superficiales, vista posterior
Vista esquemática de los principales músculos de la cabeza y el tronco y de las extremidades.

músculos extraoculares, los *músculos de la masticación,* los *músculos de la lengua* y los *músculos de la faringe* se originan en el cráneo o en el hueso hioides. Otros músculos implicados en funciones como la vista y el oído también se originan en el cráneo. Estos últimos se exponen en el capítulo 18 (sensibilidad general y especial), junto a los que están relacionados con el oído y la audición. Los *músculos anteriores del cuello* se encargan básicamente de modificar la posición de la laringe, el hueso hioides y el suelo de la boca.

Músculos de la expresión facial [v. figuras 10.2/10.3/10.4 y tabla 10.1]

Los músculos de la expresión facial se originan en la superficie del cráneo. Consulte las **figuras 10.3** y **10.4** como complemento a la descripción de su estructura. La tabla 10.1 recoge un resumen detallado de sus características. En sus inserciones, las fibras colágenas del epimisio están entrelazadas con las de la fascia superficial y la dermis cutánea; al contraerse, mueven la piel. Estos músculos se encuentran inervados por el séptimo nervio craneal, el *nervio facial.*

Dentro de los músculos faciales, el grupo más amplio está asociado a la boca (**v. figura 10.3**). El **músculo orbicular de la boca** se encarga de estrechar su abertura, mientras otros músculos mueven los labios o las comisuras. El **músculo buccinador** cumple dos funciones relacionadas con la alimentación (aparte de su importancia para los músicos). Al masticar, colabora con los músculos masticadores en el desplazamiento de la comida hacia atrás desde el espacio interno a las mejillas pasando sobre los dientes. En los lactantes, el buccinador es el responsable de producir la succión necesaria para mamar.

Otros grupos musculares más pequeños controlan los movimientos de las cejas y los párpados, el cuero cabelludo, la nariz y el oído externo. El *epicráneo* (*epi-,* sobre + *kranion,* cráneo), o cuero cabelludo, contiene el **músculo temporoparietal** y el **músculo occipitofrontal,** que posee dos vientres, el **vientre frontal** y el **vientre occipital,** separados por una lámina colágena, la *aponeurosis epicraneal* (**v. figuras 10.2** y **10.3**). El **platisma** superficial (*platys,* plano) cubre la cara anterior del cuello, y va desde la base del cuello hasta el periostio de la mandíbula y la fascia presente en las comisuras de la boca (**v. figuras 10.3** y **10.4**).

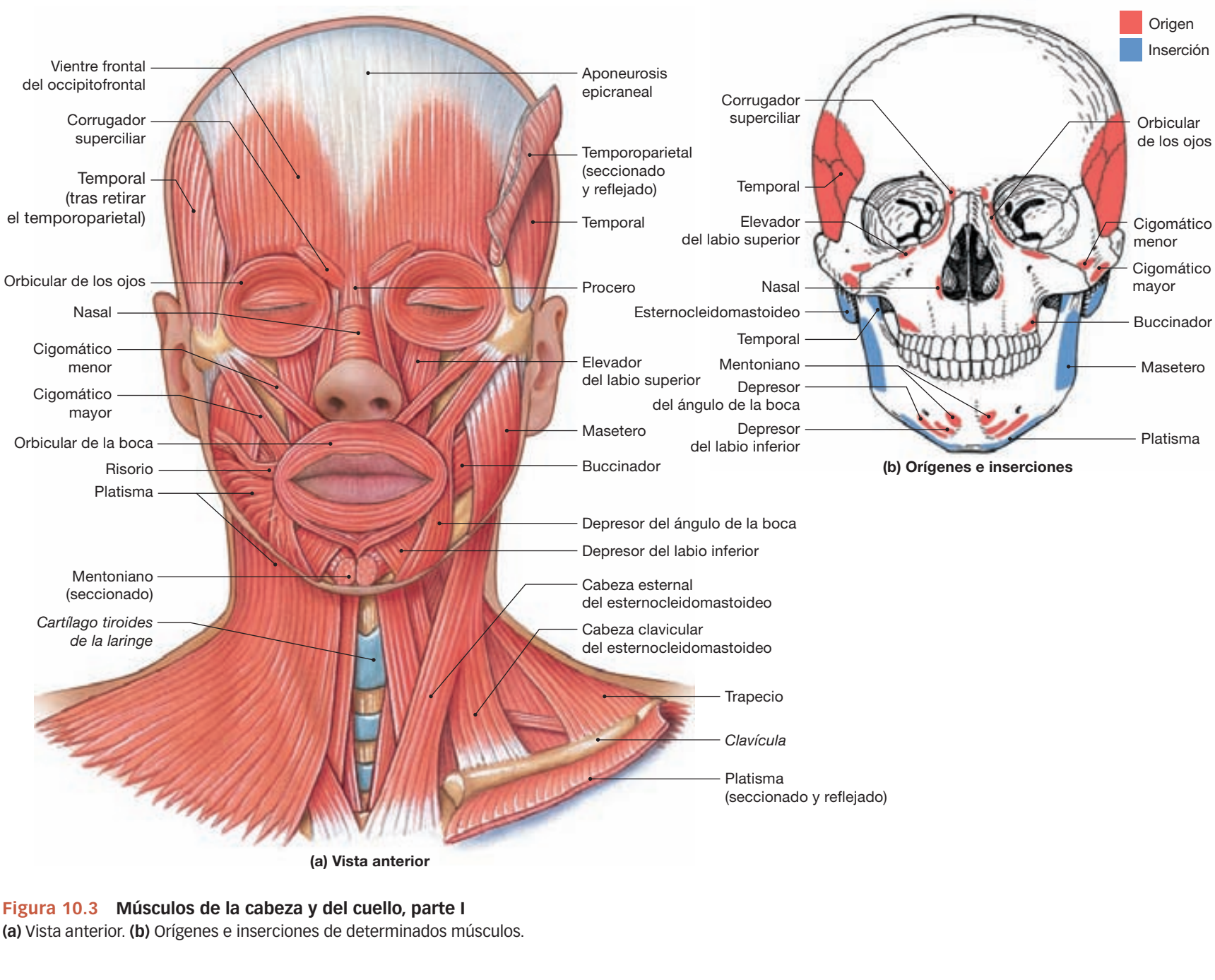


Figura 10.3 **Músculos de la cabeza y del cuello, parte I**
(a) Vista anterior. **(b)** Orígenes e inserciones de determinados músculos.

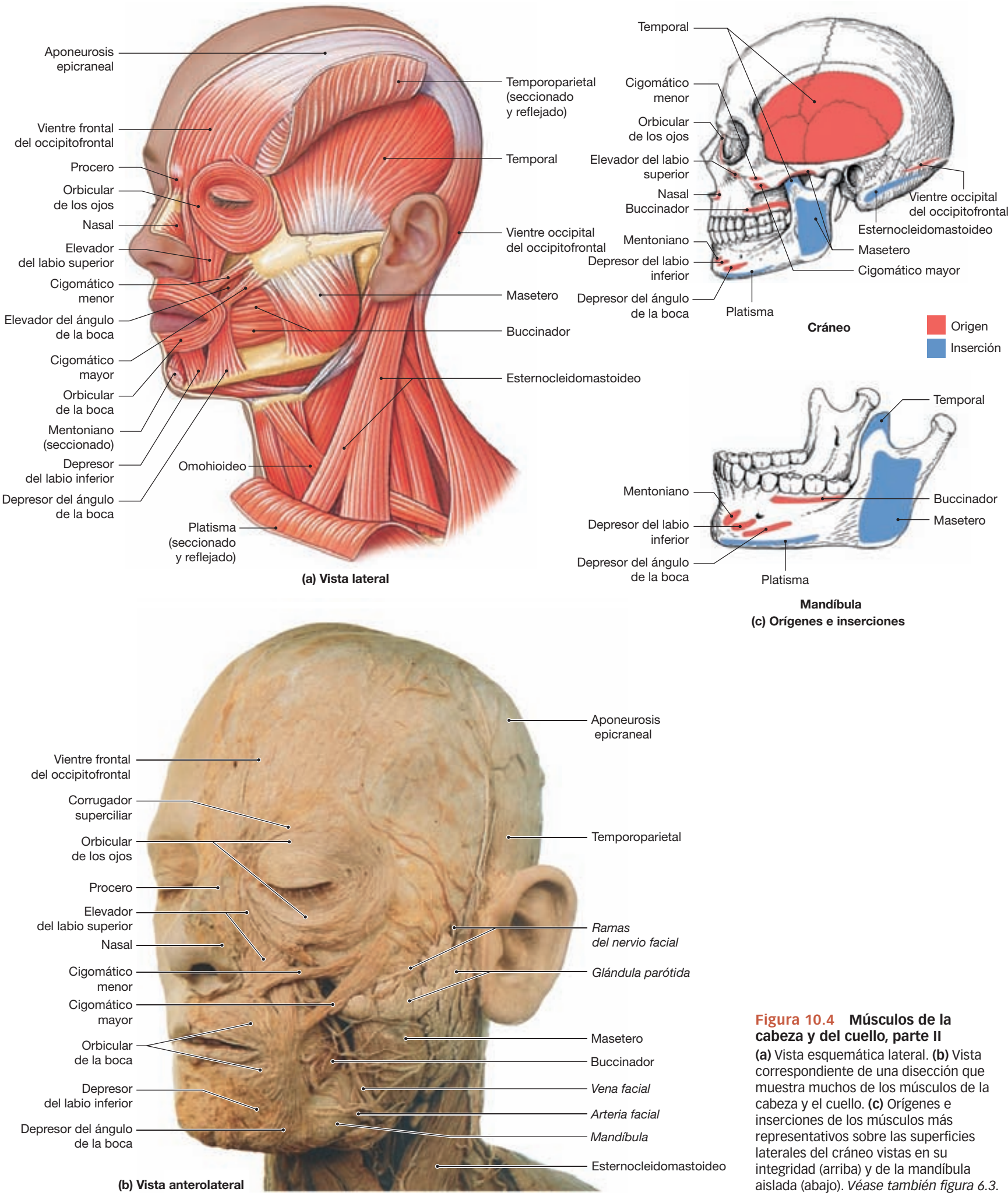


Figura 10.4 Músculos de la cabeza y del cuello, parte II

(a) Vista esquemática lateral. **(b)** Vista correspondiente de una disección que muestra muchos de los músculos de la cabeza y el cuello. **(c)** Orígenes e inserciones de los músculos más representativos sobre las superficies laterales del cráneo vistas en su integridad (arriba) y de la mandíbula aislada (abajo). *Véase también figura 6.3.*

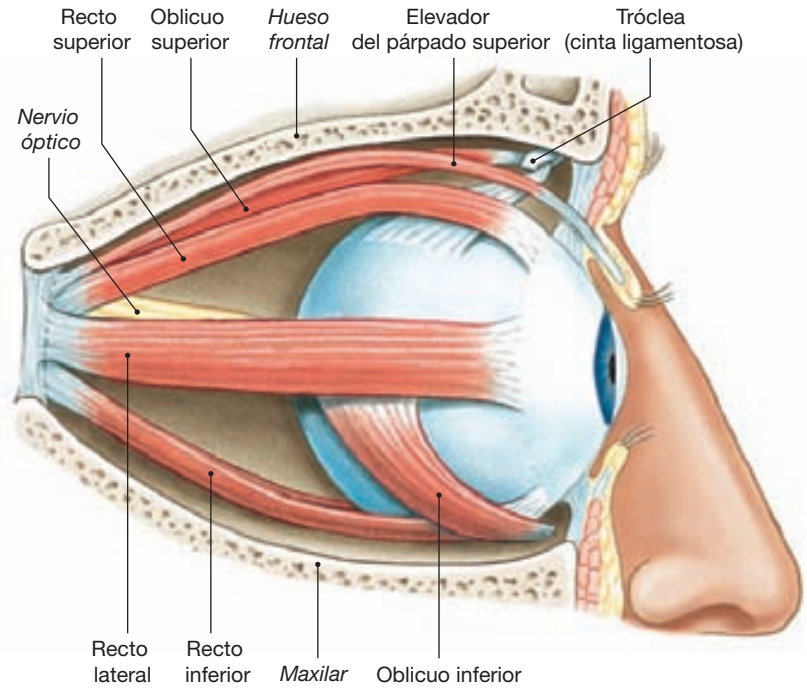
TABLA 10.1 Músculos de la expresión facial

Región/músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
BOCA				
Buccinador	Apófisis alveolares del maxilar y la mandíbula a nivel de los molares	Combinación con las fibras del orbicular de la boca	Compresión de las mejillas	Nervio facial (N VII)
Depresor del labio inferior	Mandíbula entre la línea media anterior y el agujero mentoniano	Piel del labio inferior	Descenso del labio inferior	Igual que arriba
Elevador del labio superior	Reborde inferior de la órbita, en la zona superior al agujero infraorbitario	Orbicular de la boca	Elevación del labio superior	Igual que arriba
Mentoniano	Fosa incisiva de la mandíbula	Piel del mentón	Elevación y propulsión del labio inferior	Igual que arriba
Orbicular de la boca	Maxilar y mandíbula	Labios	Compresión y fruncimiento de los labios	Igual que arriba
Risorio	Fascia alrededor de la glándula salival parótida	Ángulo de la boca	Tracción de la comisura de la boca hacia los lados	Igual que arriba
Elevador del ángulo de la boca	Zona del maxilar inferior al agujero infraorbitario	Piel en el ángulo de la boca	Elevación de la comisura de la boca	Igual que arriba
Depresor del ángulo de la boca	Superficie anterolateral del cuerpo de la mandíbula	Piel en el ángulo de la boca	Depresión de la comisura de la boca	Igual que arriba
Cigomático mayor	Hueso cigomático cerca de la sutura temporocigomática	Ángulo de la boca	Retracción y elevación de la comisura de la boca	Igual que arriba
Cigomático menor	Hueso cigomático en la zona posterior a la sutura temporocigomática	Labio superior	Retracción y elevación del labio superior	Igual que arriba
OJO				
Corrugador superciliar	Reborde orbitario del hueso frontal cerca de la sutura frontonasal	Ceja	Tracción inferior y anterior de la piel; fruncimiento de la ceja	Igual que arriba
Elevador del párpado superior	Cara inferior del ala menor del esfenoides en la zona superior y anterior al conducto óptico	Párpado superior	Elevación del párpado superior	Nervio oculomotor (N III)[a]
Orbicular del ojo	Borde medial de la órbita	Piel alrededor de los párpados	Cierre del ojo	Nervio facial (N VII)
NARIZ				
Procero	Cartílagos nasales laterales y aponeurosis que recubre la porción inferior de los huesos nasales	Aponeurosis en el puente de la nariz y piel de la frente	Movimiento de la nariz, cambio de posición y forma de las narinas	Igual que arriba
Nasal	Maxilar y cartílago alar de la nariz	Puente de la nariz	Compresión del puente, depresión de la punta de la nariz; elevación de los ángulos de las narinas	Igual que arriba
CUERO CABELLUDO (EPICRÁNEO)[b]				
Occipitofrontal				
Vientre frontal	Aponeurosis epicraneal	Piel de la ceja y puente de la nariz	Elevación de la ceja, fruncimiento del ceño	Igual que arriba
Vientre occipital	Línea nucal superior y región adyacente de la porción mastoidea del hueso temporal	Aponeurosis epicraneal	Tensión y retracción del cuero cabelludo	Igual que arriba
Temporoparietal	Fascia alrededor del oído externo	Aponeurosis epicraneal	Tensión del cuero cabelludo, movimiento de la oreja	Igual que arriba
CUELLO				
Platisma	Fascia de la parte superior del tórax entre el cartílago de la segunda costilla y el acromion de la escápula	Mandíbula y piel de la mejilla	Tensión de la piel del cuello, descenso de la mandíbula	Igual que arriba

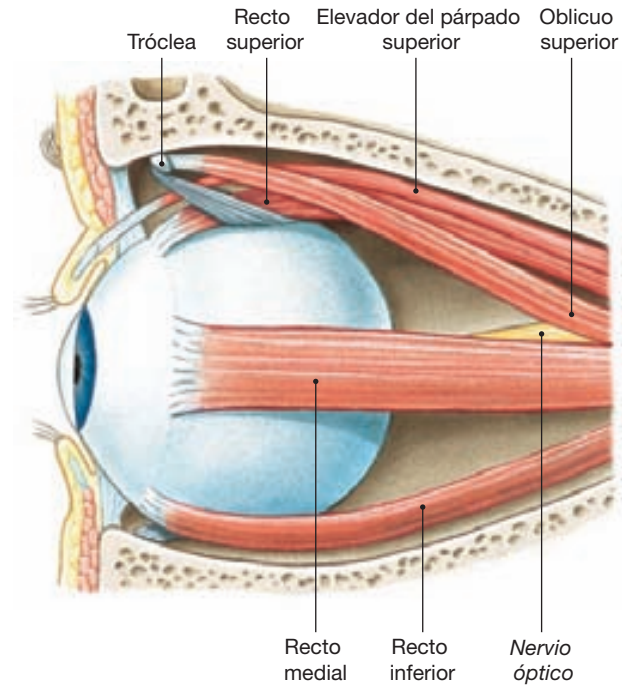
[a]Este músculo tiene un origen asociado a los músculos extraoculares, por lo que su inervación es atípica, tal como se detalla en el capítulo 15.
[b]Incluye la aponeurosis epicraneal y los músculos temporoparietal y occipitofrontal.

Músculos extraoculares [v. figura 10.5 y tabla 10.2]

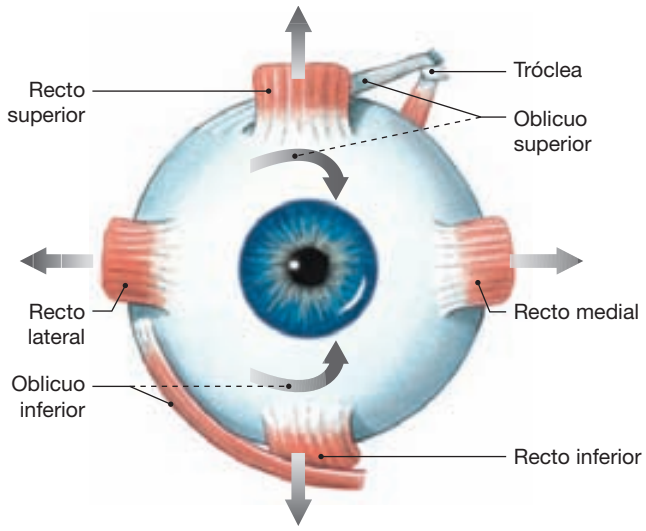
Los seis **músculos extraoculares,** a veces llamados *músculos oculomotores* o *extrínsecos del ojo,* se originan sobre la superficie de la órbita y controlan la posición de cada ojo. Son los **músculos recto inferior, recto medial, recto superior, recto lateral, oblicuo inferior** y **oblicuo superior** (v. figura 10.5 y tabla 10.2). Los músculos rectos mueven los ojos en el sentido indicado por su nombre. Además, el superior y el inferior también producen una ligera desviación medial del ojo, mientras que los músculos oblicuos superior e inferior provocan un pequeño desplazamiento lateral. Por tanto, para girar el ojo en sentido vertical hacia arriba, se contraen los músculos recto superior y oblicuo inferior; su descenso vertical hacia abajo requiere de los músculos recto inferior y oblicuo superior. Los músculos extraoculares están inervados por los nervios craneales tercero *(oculomotor),* cuarto *(troclear)* y sexto *(abducens).* Los *músculos intrínsecos del ojo,* que son de tipo liso y se encuentran en el interior del globo ocular, regulan el diámetro de la pupila y la forma del cristalino. Su explicación se facilita en el capítulo 18.



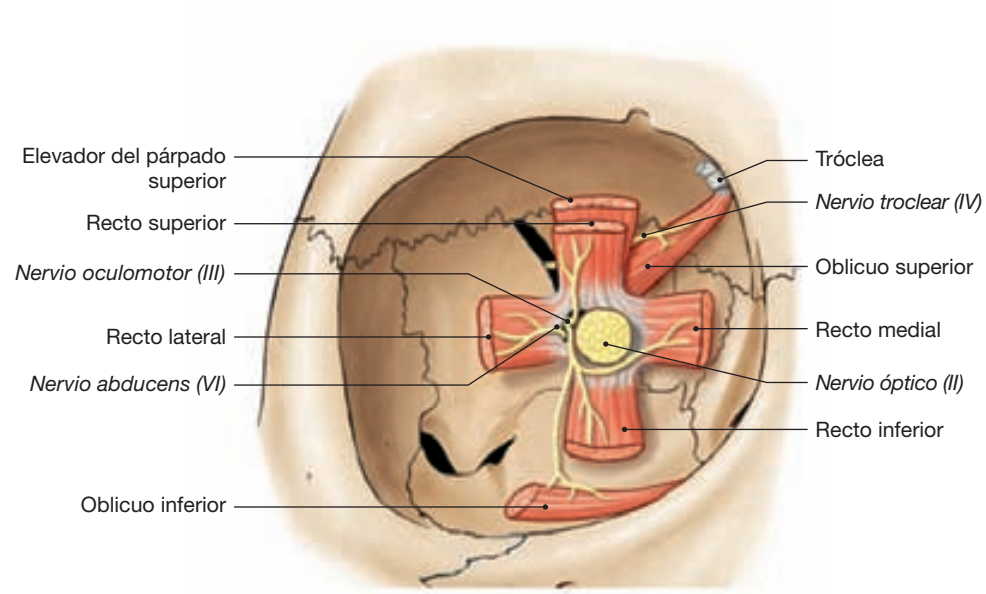
(a) Cara lateral, ojo derecho



(b) Cara medial, ojo derecho



(c) Vista anterior, ojo derecho



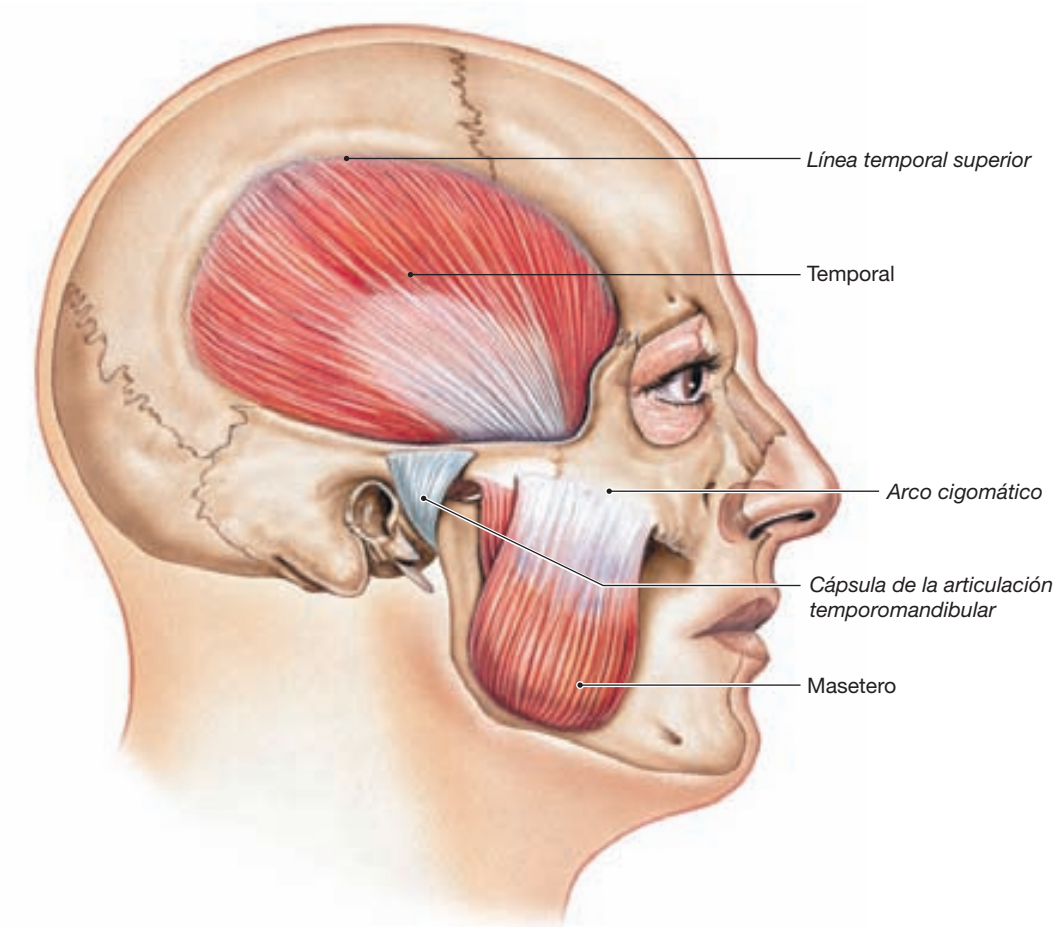
(d) Vista anterior, órbita derecha

Figura 10.5 Músculos extraoculares

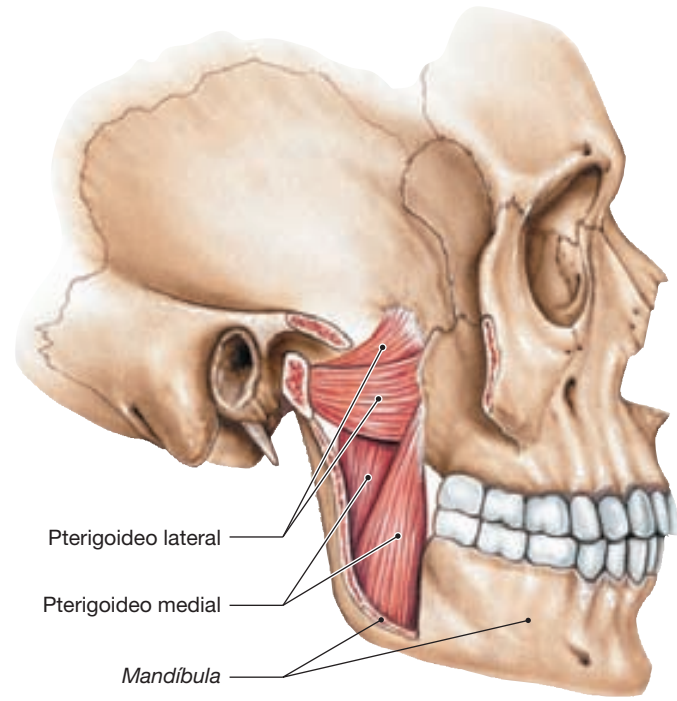
(a) Músculos de la cara lateral del ojo derecho. **(b)** Músculos de la cara medial del ojo derecho. **(c)** Vista anterior del ojo derecho, que muestra la orientación de los músculos extraoculares y la dirección del movimiento de los ojos producido con la contracción de los músculos por separado. **(d)** Vista anterior de la órbita derecha que ofrece el origen de los músculos extraoculares. *Véase también figura 6.3.*

TABLA 10.2 Músculos extraoculares

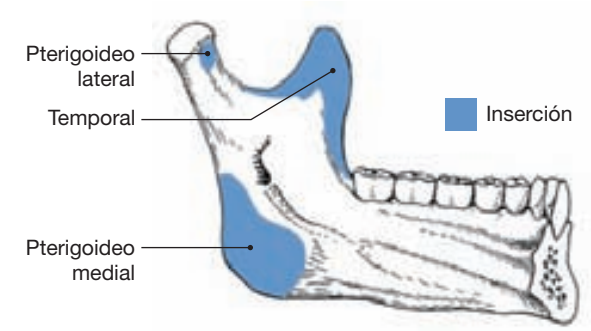
Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Recto inferior	Esfenoides alrededor del conducto óptico	Cara inferomedial del globo ocular	Desviación inferior del ojo	Nervio oculomotor (N III)
Recto medial	Igual que arriba	Cara medial del globo ocular	Desviación medial del ojo	Igual que arriba
Recto superior	Igual que arriba	Cara superior del globo ocular	Desviación superior del ojo	Igual que arriba
Recto lateral	Igual que arriba	Cara lateral del globo ocular	Desviación lateral del ojo	Nervio abducens (N VI)
Oblicuo inferior	Maxilar en la porción anterior de la órbita	Cara inferolateral del globo ocular	Rotación y desviación superolateral del ojo	Nervio oculomotor (N III)
Oblicuo superior	Esfenoides alrededor del conducto óptico	Cara superolateral del globo ocular	Rotación y desviación inferolateral del ojo	Nervio troclear (N IV)



(a) Vista lateral



(b) Vista lateral, músculos pterigoideos al descubierto



(c) Inserciones, vista medial de la rama izquierda de la mandíbula

Figura 10.6 **Músculos de la masticación**
Los músculos de la masticación movilizan la mandíbula durante este proceso. **(a)** El temporal y el masetero son dos músculos destacados de la cara lateral del cráneo. El temporal lleva un trayecto medial al arco cigomático hasta insertarse en la apófisis coronoides de la mandíbula. El masetero se inserta en el ángulo y en la cara lateral de la mandíbula. **(b)** La localización y la orientación de los músculos pterigoideos pueden observarse tras retirar los músculos que los cubren, junto con un segmento de la mandíbula. **(c)** Diversas inserciones sobre la cara medial de la mandíbula. *Véanse también figuras 6.3 y 6.14.*

Músculos de la masticación [v. figura 10.6 y tabla 10.3]

Los músculos de la masticación (v. figura 10.6 y tabla 10.3) mueven la mandíbula en la articulación temporomandibular [p. 214]. El gran **músculo masetero** se encarga de su elevación y es el músculo masticador más potente e importante. El **músculo temporal** colabora a la elevación de la mandíbula, mientras que los **músculos pterigoideos** medial y lateral, actuando en diversas combinaciones, pueden elevar la mandíbula, propulsarla o deslizarla de un lado a otro; esta acción se denomina *movimiento lateral.* Estos desplazamientos tienen interés como medio para potenciar la utilización eficiente de los dientes al masticar o para triturar alimentos de distinta consistencia. Los músculos de la masticación están inervados por el quinto nervio craneal, el *nervio trigémino.*

TABLA 10.3 Músculos de la masticación

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Masetero	Arco cigomático	Cara lateral y ángulo de la rama de la mandíbula	Elevación de la mandíbula y cierre de los maxilares superior e inferior	Nervio trigémino (N V): rama mandibular
Temporal	Recorrido de las líneas temporales del cráneo	Apófisis coronoides de la mandíbula	Igual que arriba	Igual que arriba
Pterigoideo	Lámina lateral de la apófisis pterigoides	Cara medial de la rama de la mandíbula		
Pterigoideo medial	Lámina lateral de la apófisis pterigoides y porciones adyacentes del hueso palatino y el maxilar	Cara medial de la rama de la mandíbula	Elevación de la mandíbula y cierre de los maxilares superior e inferior, o desplazamiento de la mandíbula de un lado a otro	Igual que arriba
Pterigoideo lateral	Lámina lateral de la apófisis pterigoides y ala mayor del esfenoides	Parte anterior del cuello de la apófisis condílea de la mandíbula	Apertura de los maxilares, propulsión de la mandíbula o desplazamiento de la mandíbula de un lado a otro	Igual que arriba

Nota clínica

¿Hay algo nuevo? Tal vez haya escuchado alguna vez el comentario de que «no hay nada nuevo en anatomía». Esa afirmación atestigua la opinión popular de que todas las estructuras anatómicas del cuerpo humano se describieron hace siglos. Por tanto, muchas personas estaban asombradas cuando, en 1996, los investigadores de la *University of Maryland* comprobaron la existencia de un «nuevo» músculo estriado. Este músculo, el *músculo esfenomandibular* (v. figura 10.7), colabora con los músculos de la masticación; se extiende desde la cara lateral del esfenoides hasta la mandíbula. El trabajo tomó como punto de partida el análisis informático de la *Visible Human Database,* un atlas fotográfico digitalizado de anatomía en cortes transversales. A continuación, los primeros resultados recibieron el respaldo de las minuciosas disecciones realizadas con cadáveres. Aunque aún persiste cierta polémica en torno a su existencia (p. ej., podría haber formado parte del músculo temporal en las descripciones previas), este caso es un buen ejemplo acerca de cómo las modernas tecnologías aportan nuevas perspectivas sobre el cuerpo humano.

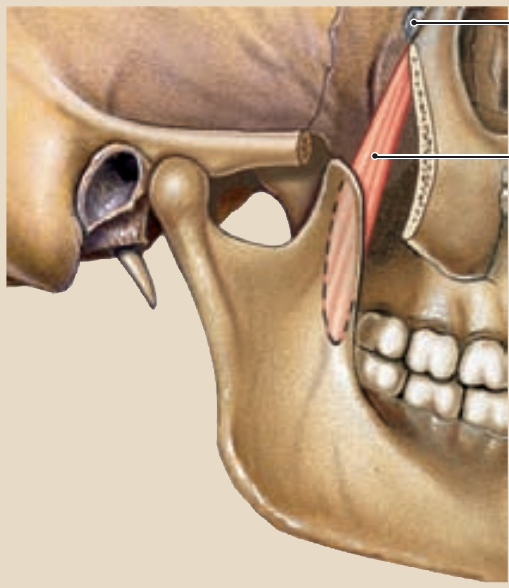


Figura 10.7 Músculo esfenomandibular

Músculos de la lengua [v. figura 10.8 y tabla 10.4]

Los músculos de la lengua llevan nombres acabados en *-gloso,* que significa «lengua». Una vez que consiga recordar las estructuras designadas por *genio-*, *hio-*, *palato-* y *estilo-*, este grupo no debería plantear ningún problema. El **músculo geniogloso** se origina en el mentón, el **músculo hiogloso** lo hace en el hueso hioides, el **músculo palatogloso** en el paladar y el **músculo estilogloso** en la apófisis estiloides (v. figura 10.8). Todos ellos constituyen los músculos extrínsecos de la lengua, cuyas diversas combinaciones se emplean para desplazar este órgano según unos patrones delicados y complejos que son necesarios para hablar. También manipulan la comida dentro de la boca durante su preparación para la deglución. Los músculos intrínsecos de la lengua están situados totalmente en su interior, y prestan una ayuda para estas actividades. La mayor parte se encuentran inervados por el duodécimo nervio craneal, el *nervio hipogloso;* esta denominación indica su función y a la vez su localización (v. tabla 10.4).

Músculos de la faringe [v. figura 10.9 y tabla 10.5]

Las parejas de los músculos de la faringe son importantes para iniciar la deglución. Los **constrictores de la faringe** empiezan el proceso de trans-

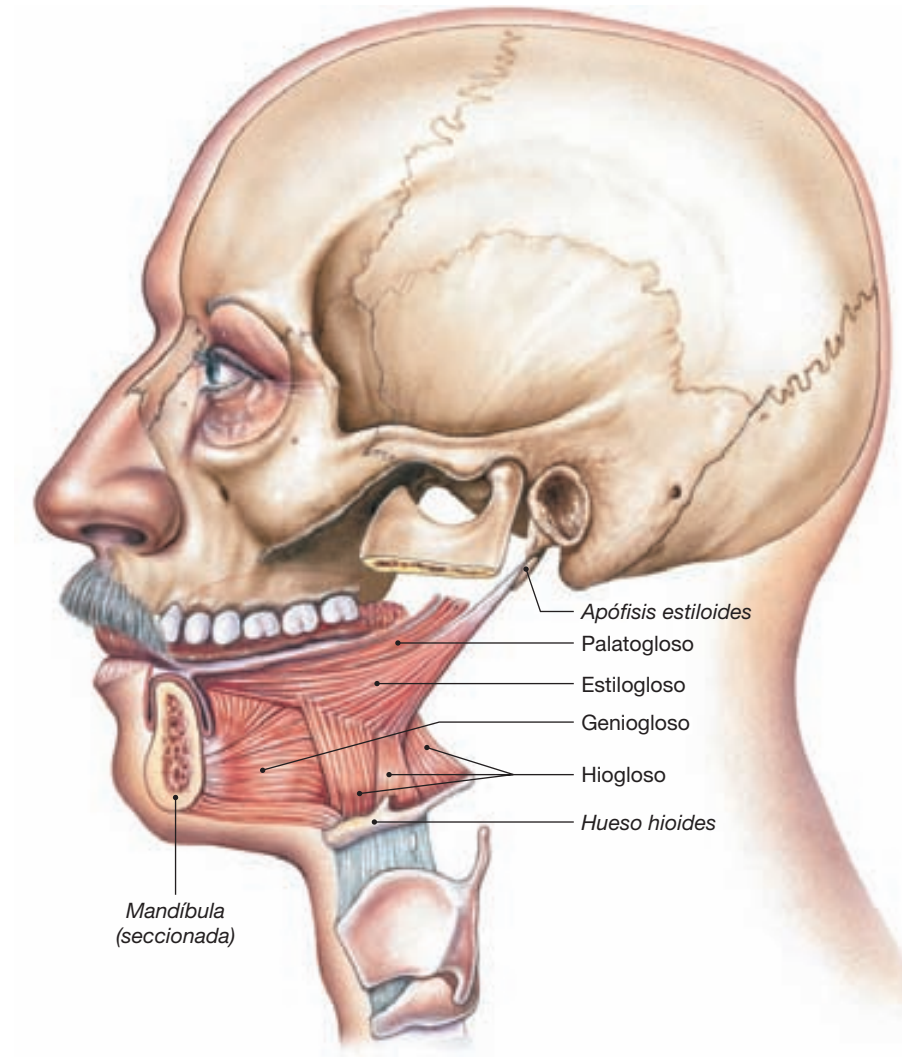
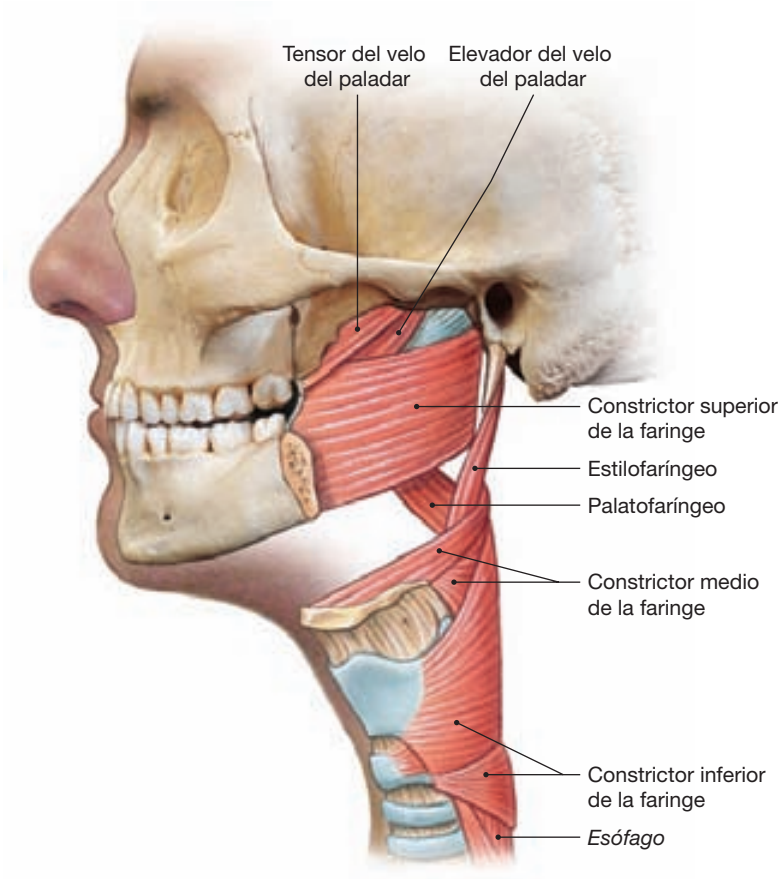


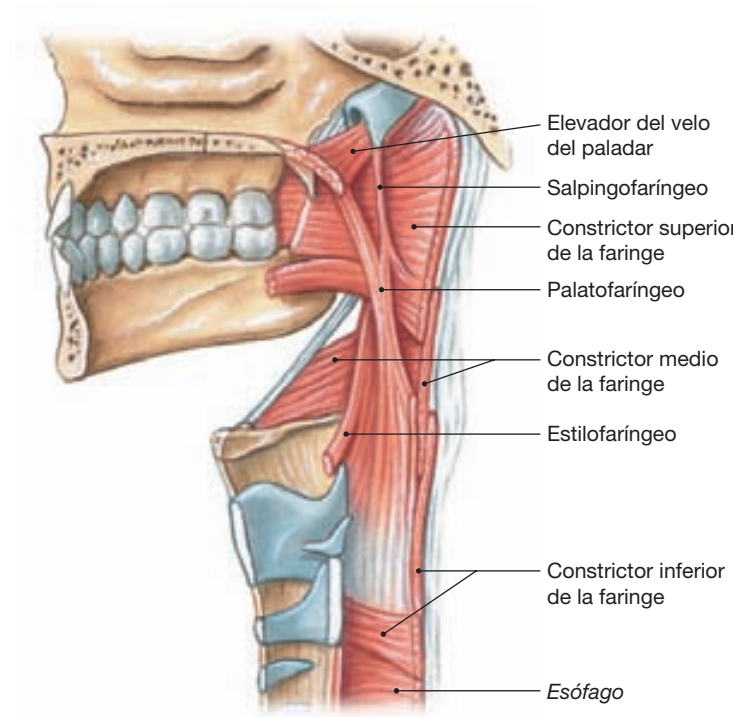
Figura 10.8 Músculos de la lengua
Se ha retirado la rama izquierda de la mandíbula para dejar ver los músculos que ocupan la porción lateral izquierda de la lengua.

TABLA 10.4 Músculos de la lengua

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Geniogloso	Cara medial de la mandíbula en torno al mentón	Cuerpo de la lengua, hueso hioides	Descenso y propulsión de la lengua	Nervio hipogloso (N XII)
Hiogloso	Cuerpo y asta mayor del hueso hioides	Porción lateral de la lengua	Descenso y retracción de la lengua	Igual que arriba
Palatogloso	Cara anterior del paladar blando	Igual que arriba	Elevación de la lengua, descenso del paladar blando	Ramo del plexo faríngeo (N X)
Estilogloso	Apófisis estiloides del hueso temporal	A lo largo de la porción lateral, desde el vértice hasta la raíz de la lengua	Retracción de la lengua, elevación de las porciones laterales	Nervio hipogloso (N XII)



(a) Vista lateral



(b) Vista mediosagital

Figura 10.9 Músculos de la faringe
Los músculos faríngeos ponen en marcha la deglución. **(a)** Vista lateral. **(b)** Vista mediosagital.

porte de un *bolo,* o masa de comida masticada, hacia el esófago. Al tirar, los **músculos palatofaríngeo, salpingofaríngeo** y **estilofaríngeo** elevan la laringe y, por ello, se les reúne como *elevadores de la laringe.* Los **músculos palatinos,** el **tensor del velo del paladar** y el **elevador del velo del paladar** elevan el paladar blando y las porciones adyacentes de la pared faríngea. Estos últimos también mantienen abierta la entrada a la trompa auditiva. Por esta razón, para adaptarse a los cambios de presión ocurridos al realizar vuelos o al hacer submarinismo, es necesario tragar varias veces repetidas. Los músculos faríngeos se encuentran inervados por los nervios craneales noveno *(glosofaríngeo)* y décimo *(vago).* En la **figura 10.9** aparecen representados estos músculos, y en la tabla 10.5 puede consultarse más información sobre ellos.

TABLA 10.5 Músculos de la faringe

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
CONSTRICTORES DE LA FARINGE			Estrechamiento de la faringe para impulsar el bolo hacia el esófago	Ramas del plexo faríngeo (N X)
Constrictor superior	Apófisis pterigoides del esfenoides, caras mediales de la mandíbula y porción lateral de la lengua	Rafe medio fijado al hueso occipital		N X
Constrictor medio	Astas del hueso hioides	Rafe medio		N X
Constrictor inferior	Cartílagos cricoides y tiroides de la laringe	Rafe medio		N X
ELEVADORES DE LA LARINGE*			Elevación de la laringe	Ramas del plexo faríngeo (N IX y X)
Palatofaríngeo	Paladar blando y duro	Cartílago tiroides		N X
Salpingofaríngeo	Cartílago en torno a la porción inferior de la trompa auditiva	Cartílago tiroides		N X
Estilofaríngeo	Apófisis estiloides del hueso temporal	Cartílago tiroides		N IX
MÚSCULOS DEL PALADAR				
Elevador del velo del paladar	Porción petrosa del hueso temporal, tejidos alrededor de la trompa auditiva	Paladar blando	Elevación del paladar blando	Ramas del plexo faríngeo (N X)
Tensor del velo del paladar	Espina del hueso esfenoides, apófisis pterigoides y tejidos alrededor de la trompa auditiva	Paladar blando	Igual que arriba	N V

*Con la ayuda de los músculos tirohioideo, genihioideo, estilohioideo y hiogloso, expuestos en las tablas 10.4 y 10.6.

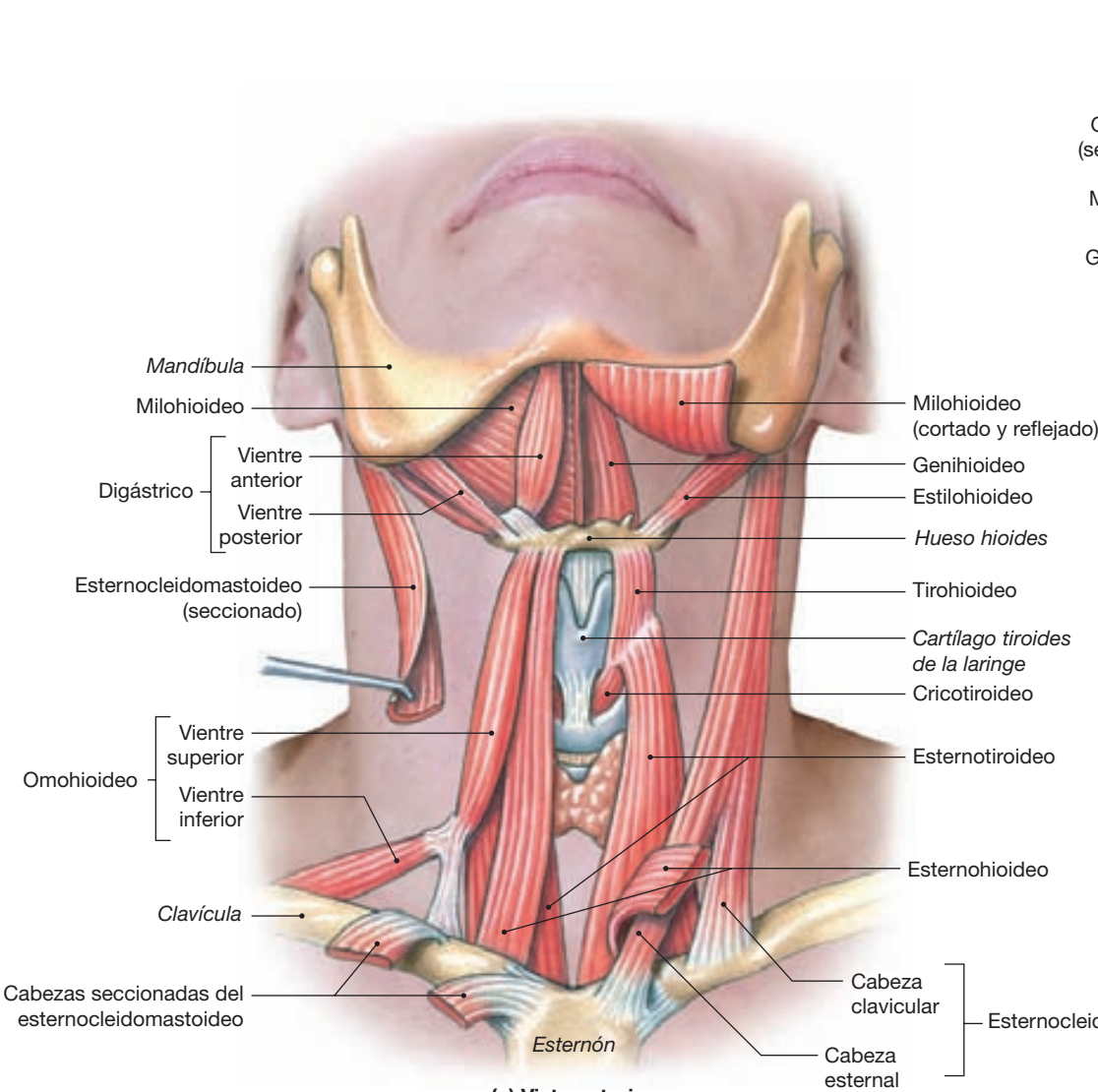
Músculos anteriores del cuello [v. figura 10.10/10.11 y tabla 10.6]

Los músculos anteriores del cuello controlan la posición de la laringe, descienden la mandíbula, tensan el suelo de la boca y ofrecen una base estable a los músculos de la lengua y de la faringe (**v. figuras 10.10** y **10.11**, y tabla 10.6). Los que colocan la laringe en su posición se llaman músculos *extrínsecos,* mientras que los que actúan sobre las cuerdas vocales se denominan músculos *intrínsecos.* (Las cuerdas vocales se estudiarán en el capítulo 24). Además, los músculos del cuello son *suprahioideos* o *infrahioideos* según la ubicación que posean con respecto al hueso hioides. El **músculo digástrico** tiene dos vientres, como su nombre indica (*di-,* dos + *gaster,* estómago). Uno se extiende desde el mentón hasta el hueso hioides y el otro sigue desde el hueso hioides hasta la porción mastoidea del hueso temporal. Su acción abre la boca porque desciende la mandíbula. El vientre anterior recubre el **músculo milohioideo,** que es ancho y plano, y ofrece apoyo muscular al suelo de la boca. Los **músculos genihioideos,** situados un nivel superior al músculo milohioideo, proporcionan un medio de sostén suplementario. El **músculo estilohioideo** tiende una conexión muscular entre el hueso hioides y la apófisis estiloides del cráneo. El **músculo esternocleidomastoideo** se extiende desde la clavícula y el esternón hasta la apófisis mastoides del cráneo. En su origen tiene dos cabezas, una *cabeza esternal* y una *cabeza clavicular* (v. tabla 10.6). El **músculo omohioideo** se fija a la escápula, la clavícula y la primera costilla, y al hueso hioides. Son unos músculos extensos que están inervados por más de un nervio, y así puede lograrse su contracción independiente por regiones específicas. Por consiguiente, también cumplen acciones bastante variadas. Los demás miembros de este grupo son músculos acintados que se sitúan entre el esternón y la laringe *(esternotiroideo)* o el hueso hioides *(esternohioideo),* y entre la laringe y el hueso hioides *(tirohioideo).*

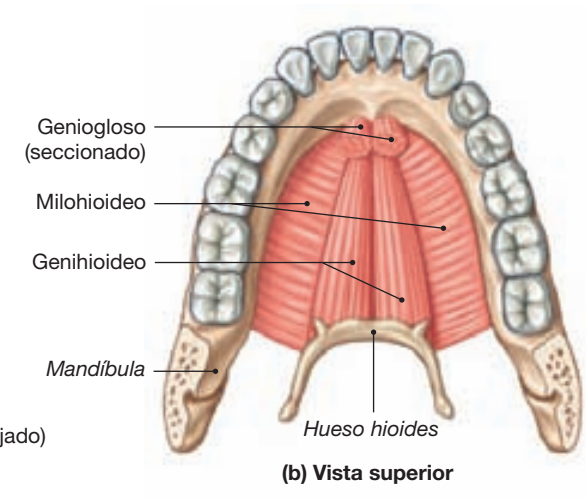
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Dónde se originan los músculos de la expresión facial?
2. ¿Qué función general tienen los músculos de la masticación?
3. Describa la(s) función(es) general(es) de los músculos extraoculares.
4. ¿Cuál es la importancia de los músculos faríngeos?

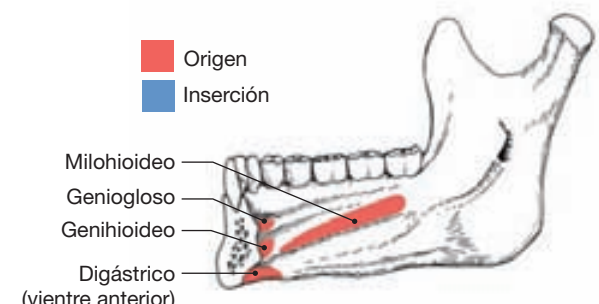
Véase «Respuestas» al final del libro.



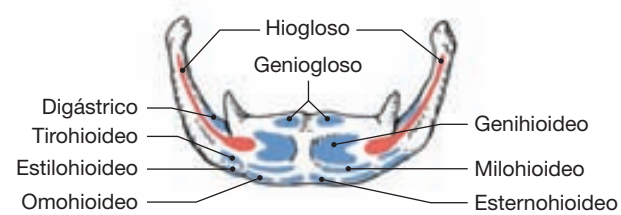
(a) Vista anterior



(b) Vista superior



Mandíbula, vista medial de la rama izquierda



Hueso hioides, vista anterior

(c) Orígenes e inserciones

Figura 10.10 Músculos anteriores del cuello, parte I

Los músculos anteriores del cuello gradúan la posición de la laringe, la mandíbula y el suelo de la boca y ofrecen una base para la fijación de los músculos de la lengua y la faringe. **(a)** Vista anterior de los músculos del cuello. **(b)** Músculos que forman el suelo de la cavidad oral: vista superior. **(c)** Orígenes e inserciones en la mandíbula y el hioides. *Véanse también figuras 6.3, 6.4 y 6.17.*

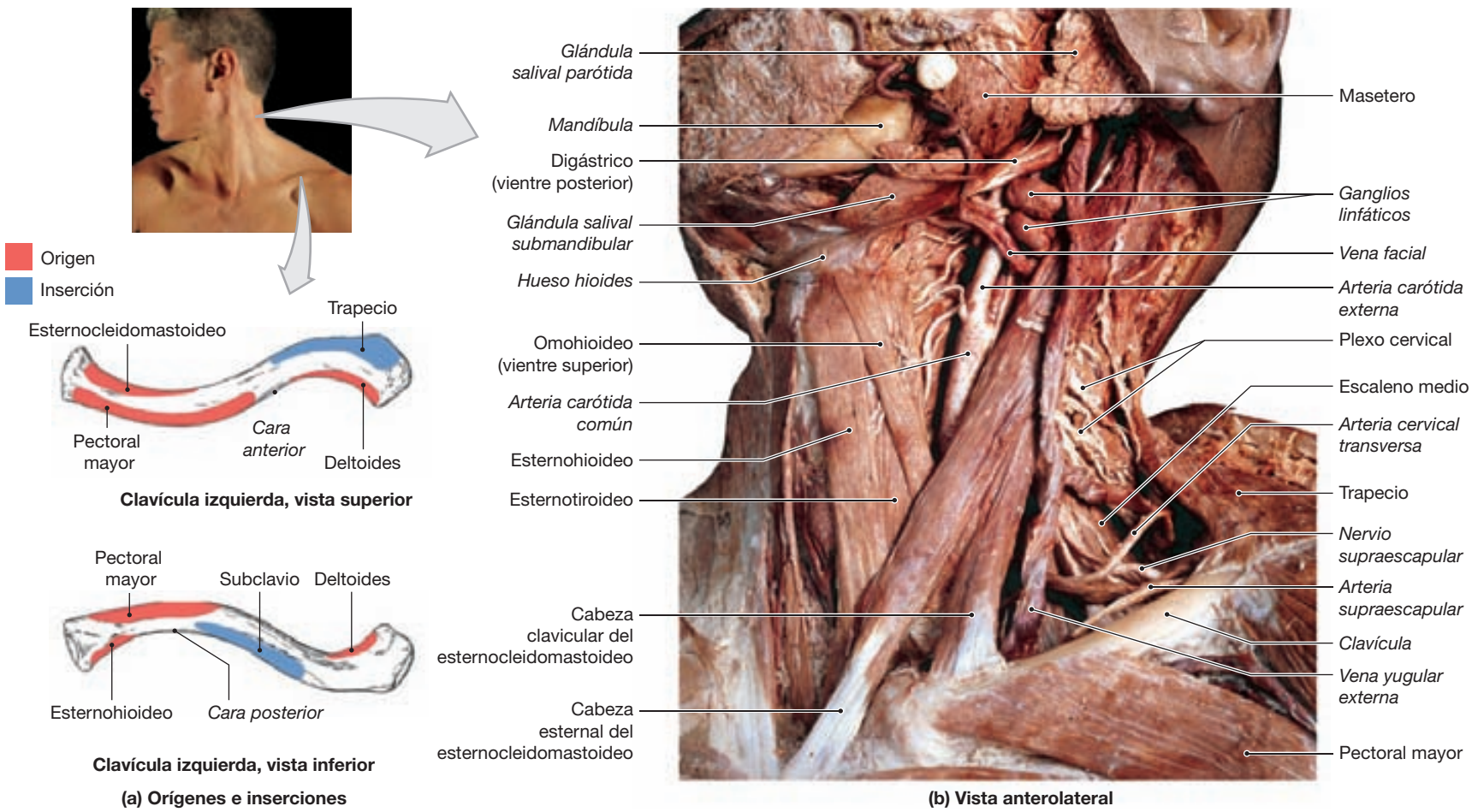


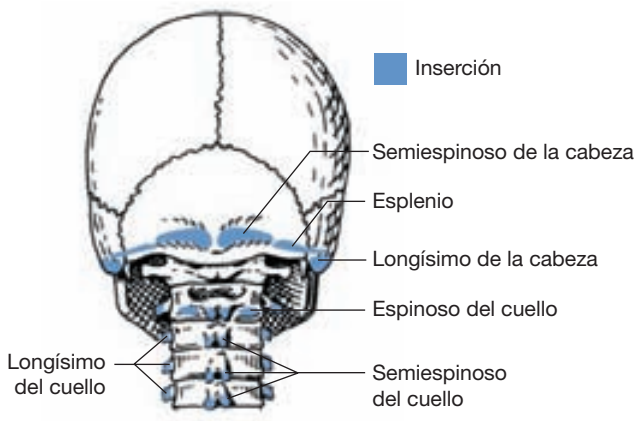
Figura 10.11 **Músculos anteriores del cuello, parte II**

(a) Orígenes e inserciones en la clavícula. **(b)** Vista anterolateral de una disección del cuello, que muestra los músculos cervicales y las estructuras adyacentes. *Véanse también figuras 6.17 y 7.3.*

TABLA 10.6 Músculos anteriores del cuello

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Digástrico		Hueso hioides	Descenso de la mandíbula, apertura de la boca y/o elevación de la laringe	
Vientre anterior	Cara inferior de la mandíbula en el mentón			Nervio trigémino (N V), rama mandibular
Vientre posterior	Región mastoidea del hueso temporal			Nervio facial (N VII)
Genihioideo	Cara medial de la mandíbula en el mentón	Hueso hioides	Igual más retracción del hueso hioides	Nervio cervical C_1 a través del nervio hipogloso (N XII)
Milohioideo	Línea milohioidea de la mandíbula	Banda media de tejido conjuntivo (rafe) que salta hasta el hueso hioides	Elevación del suelo de la boca, elevación del hueso hioides y/o descenso de la mandíbula	Nervio trigémino (N V), rama mandibular
Omohioideo*	Borde superior de la escápula cerca de su escotadura	Hueso hioides	Descenso del hueso hioides y la laringe	Nervios espinales cervicales C_2-C_3
Esternohioideo	Clavícula y manubrio	Hueso hioides	Igual que arriba	Nervios espinales cervicales C_1-C_3
Esternotiroideo	Cara dorsal del manubrio y del primer cartílago costal	Cartílago tiroides de la laringe	Igual que arriba	Igual que arriba
Estilohioideo	Apófisis estiloides del hueso temporal	Hueso hioides	Elevación de la laringe	Nervio facial (N VII)
Tirohioideo	Cartílago tiroides de la laringe	Hueso hioides	Elevación de la laringe, descenso del hueso hioides	Nervios espinales cervicales C_1-C_2 a través del nervio hipogloso (N XII)
Esternocleidomastoideo		Región mastoidea del cráneo y porción lateral de la línea nucal superior	En conjunto, flexión del cuello; cada lado en solitario, inclinación del cuello hacia el hombro y giro de la cara hacia el lado opuesto	Nervio accesorio (N XI) y nervios espinales cervicales (C_2-C_3) del plexo cervical
Cabeza clavicular	Unión con el extremo esternal de la clavícula			
Cabeza esternal	Manubrio			

*Vientres superior e inferior, unidos en un tendón central sujeto a la clavícula y a la primera costilla.



Músculos de la columna vertebral

[v. figuras 10.2/10.12 y tabla 10.7]

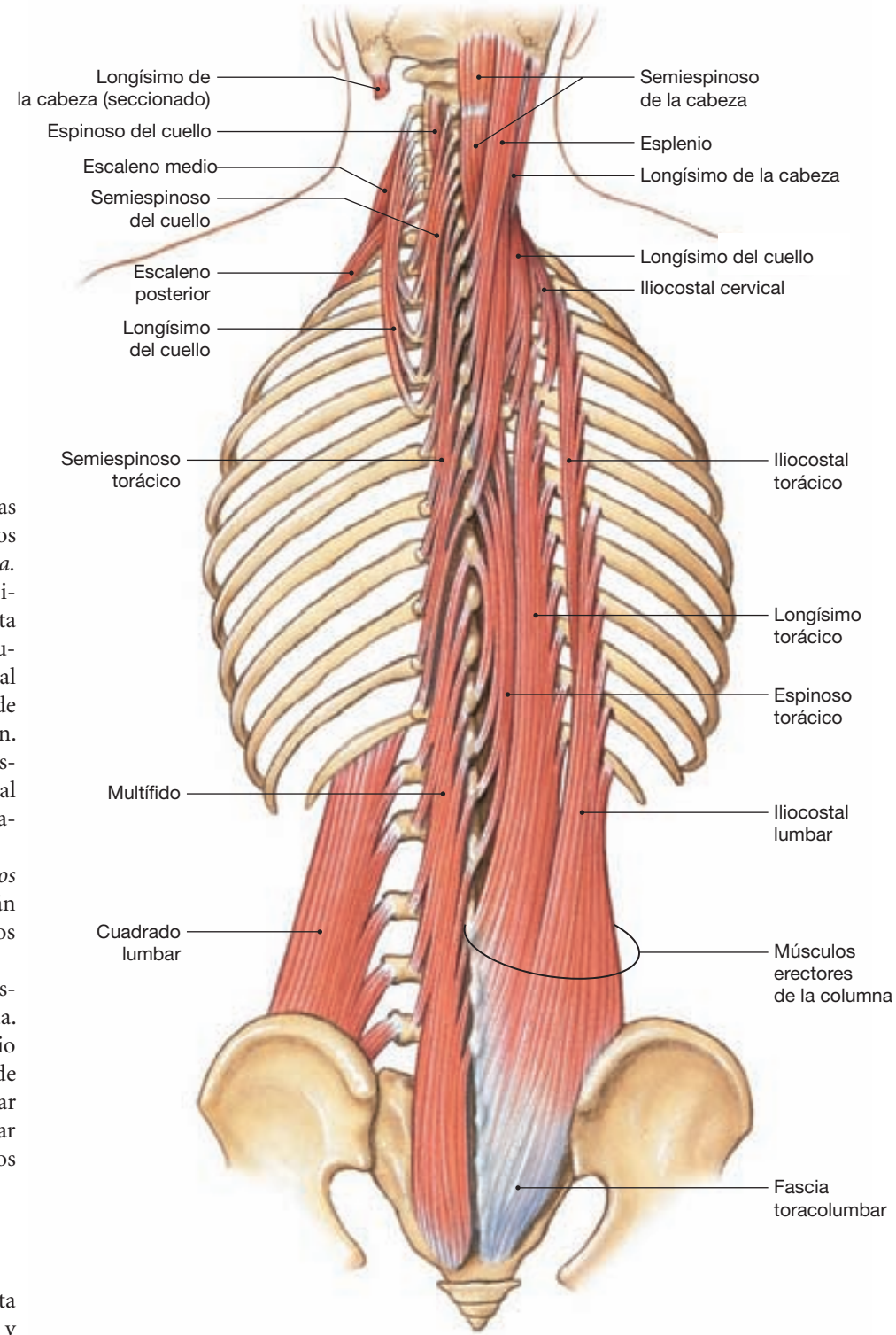
Los músculos de la espalda están organizados en tres capas distintas (superficial, intermedia y profunda). Los que pertenecen a las dos primeras llevan el nombre de *músculos extrínsecos de la espalda.* Todos ellos están inervados por ramos ventrales de los nervios espinales correspondientes, y saltan desde el esqueleto del tronco hasta la extremidad superior o la parrilla costal. En el capítulo 11 se estudiarán los de la capa superficial, los músculos trapecio, dorsal ancho, elevador de la escápula y romboides, pues se encargan de colocar la cintura escapular y el miembro superior en su posición. La capa intermedia de los músculos extrínsecos de la espalda consta de los músculos serratos posteriores, cuya función primordial radica en auxiliar al movimiento de las costillas durante la respiración. Más adelante se ofrece su explicación en este capítulo.

Los músculos más profundos de la espalda son los *músculos intrínsecos de la espalda* (**v. figura 10.12** y tabla 10.7), que están inervados por los ramos dorsales de los nervios espinales. Todos ellos conectan las vértebras entre sí y las estabilizan.

Los músculos intrínsecos de la espalda también están dispuestos en una capa superficial, otra intermedia y otra profunda. Las tres ocupan la zona lateral a la columna vertebral en el espacio que queda entre las apófisis espinosas y las apófisis transversas de las vértebras. Aunque tomada en su conjunto, esta masa muscular se extiende desde el sacro hasta el cráneo, es importante recordar que cada grupo muscular está compuesto por numerosos músculos independientes de diversas longitudes.

Capa superficial de los músculos intrínsecos de la espalda

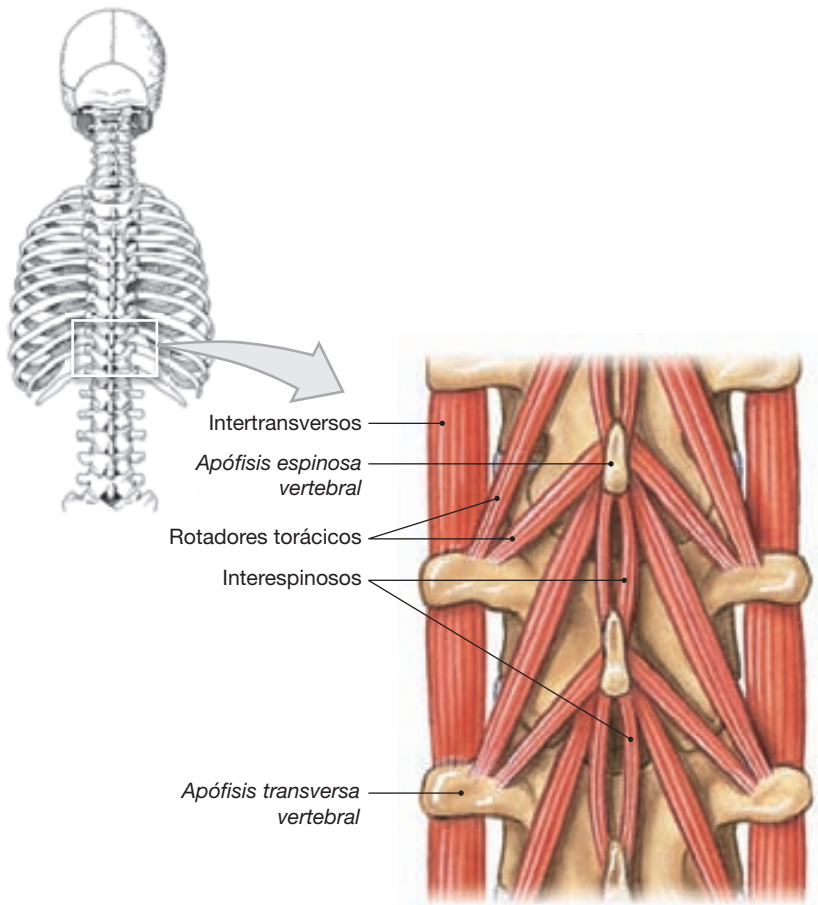
La capa superficial de los músculos intrínsecos de la espalda consta de los músculos esplenios (los **músculos esplenios de la cabeza** y **del cuello**). Los músculos esplenios de la cabeza se originan en el ligamento nucal y en las apófisis espinosas de las cuatro vértebras torácicas superiores, y se insertan en el cráneo. Los músculos esplenios del cuello se originan en el ligamento nucal y en las apófisis espinosas de las vértebras cervicales superiores, y también se insertan en el cráneo. Estos dos grupos musculares realizan la extensión o la flexión lateral del cuello.



(a) Erector de la columna, vista posterior

Figura 10.12 Músculos de la columna vertebral

En conjunto, estos músculos corrigen la posición de la columna vertebral, la cabeza, el cuello y las costillas. Se muestran determinados orígenes e inserciones. **(a)** Vista posterior de los músculos superficiales (derecha) y más profundos (izquierda) de la columna vertebral. **(b)** Vista posterior de los músculos intervertebrales. **(c)** Músculos en la cara anterior de las vértebras cervicales y torácicas superiores.



(b) Músculos intervertebrales, vista posterior

(c) Músculos sobre la cara anterior de las vértebras cervicales y torácicas superiores

Figura 10.12 *(cont.)*

Capa intermedia de los músculos intrínsecos de la espalda

La capa intermedia está compuesta por los extensores de la columna, o **erectores de la columna.** Estos músculos se originan en la columna vertebral, y el nombre de cada uno aporta una información útil sobre sus inserciones. Por ejemplo, un músculo con la denominación *de la cabeza* se inserta en el cráneo, mientras que *del cuello* indica una inserción en las vértebras cervicales superiores, y *del tórax* en las vértebras cervicales inferiores y torácicas superiores. Los erectores de la columna se subdividen en tres grupos: los **músculos espinosos, longísimos** e **iliocostales** (v. figura 10.12a). Estas categorías se basan en su proximidad a la columna vertebral, siendo el grupo espinoso el más cercano y el iliocostal el más alejado. En las regiones lumbares inferior y sacra, cuesta distinguir los límites entre los músculos longísimo e iliocostal. Al contraerse a la vez, el erector de la columna extiende la columna vertebral. Si sólo se contrae en un lado, producirá una flexión lateral.

Capa profunda de los músculos intrínsecos de la espalda

En el plano que hay bajo los músculos espinosos, los músculos de la capa más profunda conectan las vértebras entre sí y las estabilizan. A veces reciben el nombre de *músculos transversoespinosos,* y comprenden el grupo **semiespinoso** y los **músculos multífidos, rotadores, interespinosos** e **intertransversos** (v. figura 10.12a,b). Se trata de unos músculos relativamente cortos que actúan formando diversas combinaciones para producir una ligera extensión o rotación de la columna vertebral. También son importantes en la realización de alguna corrección delicada sobre la posición de determinadas vértebras y en la estabilización de las contiguas. Su lesión puede poner en marcha un ciclo de dolor → estimulación muscular → contracción → dolor. A veces, esto genera presión sobre los nervios espinales vecinos, y da lugar a una pérdida de la sensibilidad y una limitación de la movilidad. Muchos de los ejercicios de calentamiento y estiramiento recomendados antes de los acontecimientos deportivos están pensados para preparar a estos pequeños músculos tan importantes por su función de apoyo.

Flexores de la columna

Los músculos de la columna vertebral están integrados por muchos extensores y pocos flexores. La columna vertebral no necesita una cantidad enorme de músculos flexores por las siguientes razones: 1) muchos de los grandes músculos del tronco flexionan la columna vertebral al contraerse, y 2) la mayor parte del peso corporal queda delante de ella, y la gravedad tiende a flexionarla. Sin embargo, sí que hay unos cuantos flexores de la columna vertebral asociados a su cara anterior. En el cuello (v. figura 10.12c) el **largo de la cabeza** y el **largo del cuello** rotan o flexionan esta última región, en función de que se contraigan los músculos de un lado o de los dos. En la zona lumbar, los grandes músculos **cuadrados lumbares** flexionan la columna vertebral y descienden las costillas.

TABLA 10.7 Músculos de la columna vertebral

Grupo/músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
CAPA SUPERFICIAL				
Esplenio (esplenio de la cabeza, esplenio del cuello)	Apófisis espinosas de las vértebras cervicales inferiores y torácicas superiores y ligamentos que las conectan	Apófisis mastoides, hueso occipital del cráneo, vértebras cervicales superiores	Extensión del cuello por la acción conjunta de ambos lados; en solitario, rotación y flexión lateral del cuello hacia su mismo lado	Nervios espinales cervicales
Erector de la columna				
GRUPO ESPINOSO				
Espinoso cervical	Porción inferior del ligamento nucal y apófisis espinosa de C_7	Apófisis espinosa del axis	Extensión del cuello	Igual que arriba
Espinoso torácico	Apófisis espinosas de las vértebras torácicas inferiores y lumbares superiores	Apófisis espinosas de las vértebras torácicas superiores	Extensión de la columna vertebral	Nervios espinales torácicos y lumbares
GRUPO LONGÍSIMO				
Longísimo de la cabeza	Apófisis transversas de las vértebras cervicales inferiores y torácicas superiores	Apófisis mastoides del hueso temporal	Extensión del cuello por la acción conjunta de ambos lados; en solitario, rotación y flexión lateral del cuello hacia su mismo lado	Nervios espinales cervicales y torácicos
Longísimo del cuello	Apófisis transversas de las vértebras torácicas superiores	Apófisis transversas de las vértebras cervicales medias y superiores	Igual que arriba	Igual que arriba
Longísimo torácico	Aponeurosis ancha y apófisis transversas de las vértebras torácicas inferiores y lumbares superiores; confluencia con los iliocostales	Apófisis transversas de las vértebras lumbares y torácicas superiores, y cara inferior de las 10 costillas inferiores	Extensión de la columna vertebral; en solitario, flexión lateral hacia su mismo lado	Nervios espinales torácicos y lumbares
GRUPO ILIOCOSTAL				
Iliocostal cervical	Borde superior de las costillas vertebroesternales cerca de su ángulo	Apófisis transversas de las vértebras cervicales medias e inferiores	Extensión o flexión lateral del cuello, elevación de las costillas	Nervios espinales cervicales y torácicos superiores
Iliocostal torácico	Borde superior de las costillas 6-12 en la zona medial a su ángulo	Costillas superiores y apófisis transversas de la última vértebra cervical	Estabilización de las vértebras torácicas en la extensión	Nervios espinales torácicos
Iliocostal lumbar	Cresta ilíaca, crestas sacras y apófisis espinosas lumbares	Cara inferior de las costillas 6-12 cerca de su ángulo	Extensión de la columna vertebral, descenso de las costillas	Nervios espinales torácicos inferiores y lumbares
MÚSCULOS PROFUNDOS DE LA COLUMNA VERTEBRAL (TRANVERSOESPINALES)				
Semiespinosos				
Semiespinoso de la cabeza	Apófisis de las vértebras cervicales inferiores y torácicas superiores	Hueso occipital, entre las líneas nucales	Extensión del cuello al actuar ambos lados en conjunto; en solitario, extensión y flexión lateral del cuello, y giro de la cabeza hacia el lado opuesto	Nervios espinales cervicales
Semiespinoso del cuello	Apófisis transversas de T_1-T_5 o T_6	Apófisis espinosas de C_2-C_5	Extensión de la columna vertebral y rotación hacia el lado opuesto	Igual que arriba
Semiespinoso torácico	Apófisis transversas de T_6-T_{10}	Apófisis espinosas de C_5-T_4	Igual que arriba	Nervios espinales torácicos
Multífido	Sacro y apófisis transversa de cada vértebra	Apófisis espinosas de la tercera o cuarta vértebra más alta	Igual que arriba	Nervios espinales cervicales, torácicos y lumbares
Rotadores (cervicales, torácicos y lumbares)	Apófisis transversas de las vértebras de cada región (cervical, torácica y lumbar)	Apófisis espinosa de la vértebra adyacente un nivel más alto	Igual que arriba	Igual que arriba
Interespinosos	Apófisis espinosa de cada vértebra	Apófisis espinosas de la vértebra un nivel más alto	Extensión de la columna vertebral	Igual que arriba
Intertransversos	Apófisis transversas de cada vértebra	Apófisis transversa de la vértebra un nivel más alto	Flexión lateral de la columna vertebral	Igual que arriba
FLEXORES DE LA COLUMNA VERTEBRAL				
Largo de la cabeza	Apófisis transversas de las vértebras cervicales	Base del hueso occipital	Flexión del cuello al actuar ambos lados en conjunto; en solitario, rotación de la cabeza hacia el mismo lado	Nervios espinales cervicales
Largo del cuello	Cara anterior de las vértebras cervicales y torácicas superiores	Apófisis transversas de las vértebras cervicales superiores	Flexión y/o rotación del cuello; límite de la hiperextensión	Igual que arriba
Cuadrado lumbar	Cresta ilíaca y ligamento iliolumbar	Última costilla y apófisis transversas de las vértebras lumbares	Descenso de las costillas al actuar en conjunto; en solitario, flexión lateral de la columna vertebral; fijación de las costillas flotantes (11 y 12) durante la espiración forzada	Nervios espinales torácicos y lumbares

Músculos oblicuos y rectos [v. figuras 10.12 a 10.14 y tabla 10.8]

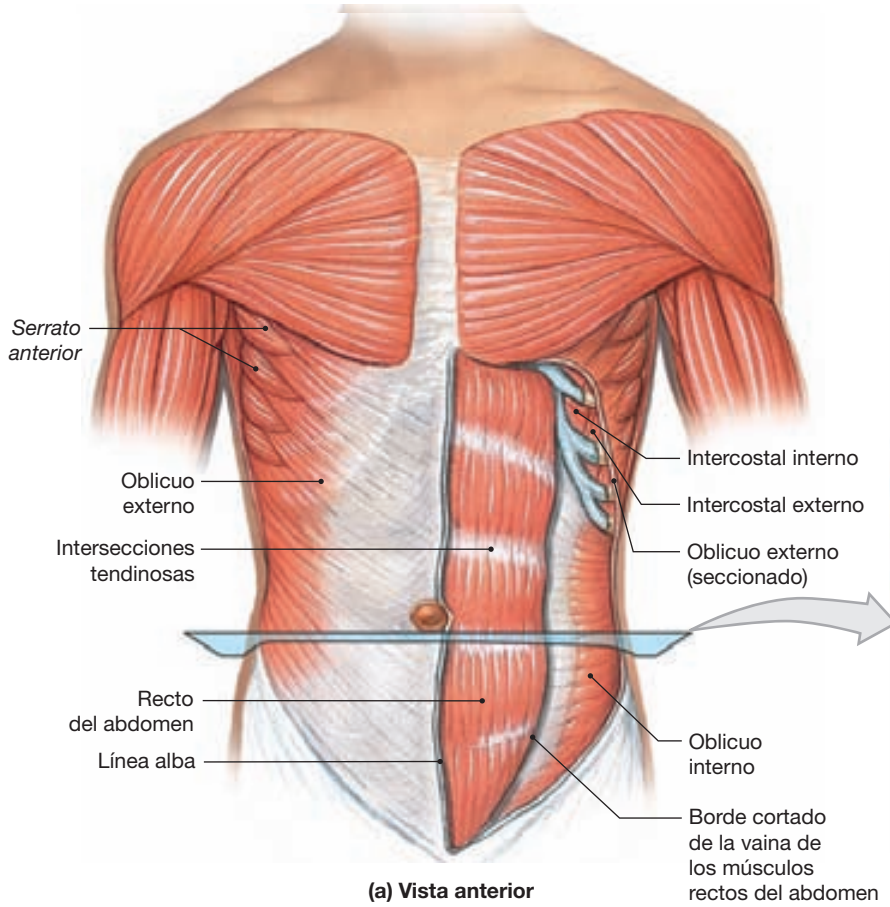
Los músculos de los grupos oblicuo y recto (v. figuras 10.12 a 10.14 y tabla 10.8) están situados entre la columna vertebral y la línea media ventral. Los músculos oblicuos son capaces de comprimir las estructuras subyacentes o de rotar la columna vertebral, según se contraigan en un solo lado o en los dos. Los músculos rectos son flexores importantes de la columna vertebral, y su acción se opone al erector de la columna. Los músculos oblicuos y rectos del tronco están relacionados con el diafragma que separa las cavidades abdominopélvica y torácica por un origen embrionario común. Los músculos oblicuos y rectos pueden dividirse en un grupo cervical, otro torácico y otro abdominal.

El grupo oblicuo contiene los **músculos escalenos** de la región cervical y los **músculos intercostales** y el **transverso** de la región torácica. En el cuello, los *músculos escalenos anterior, medio* y *posterior* elevan las dos primeras costillas y colaboran en la flexión del cuello (v. figura 10.12 a,c). En el tórax, los músculos oblicuos, que se hallan entre las costillas, se denominan *músculos intercostales.* Los **músculos intercostales externos** están superficiales a los **músculos intercostales internos** (v. figura 10.13a). Los dos grupos de músculos intercostales tienen importancia para los movimientos respiratorios de las costillas. Un pequeño **músculo transverso del tórax** cruza la cara interna de la parrilla costal y está cubierto por la serosa *(pleura)* que reviste las cavidades pleurales.

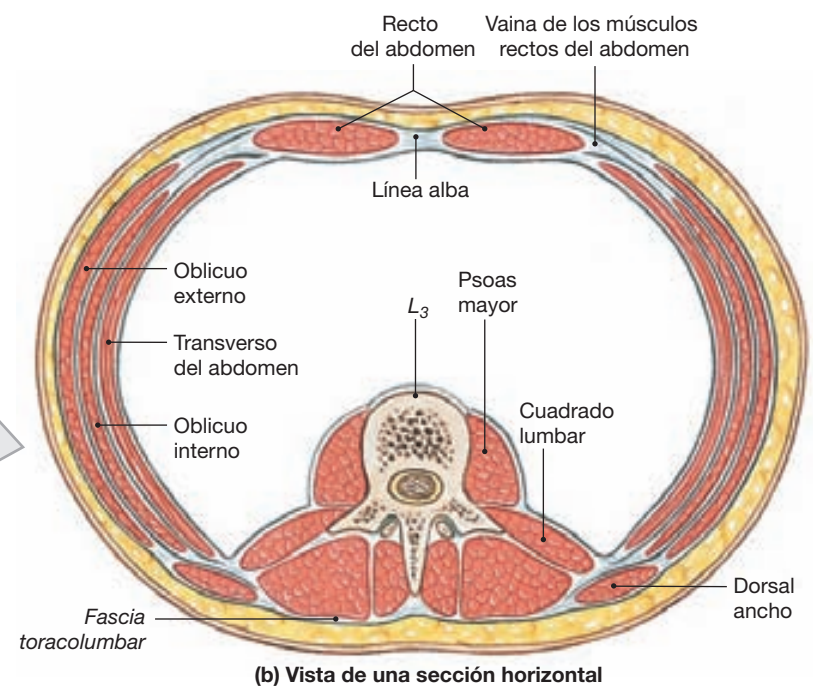
En el abdomen, este mismo patrón básico de la musculatura se extiende sin interrupción a lo largo de la superficie abdominopélvica. La disposición cruzada de sus fibras musculares refuerza la pared abdominal.

TABLA 10.8 Músculos oblicuos y rectos

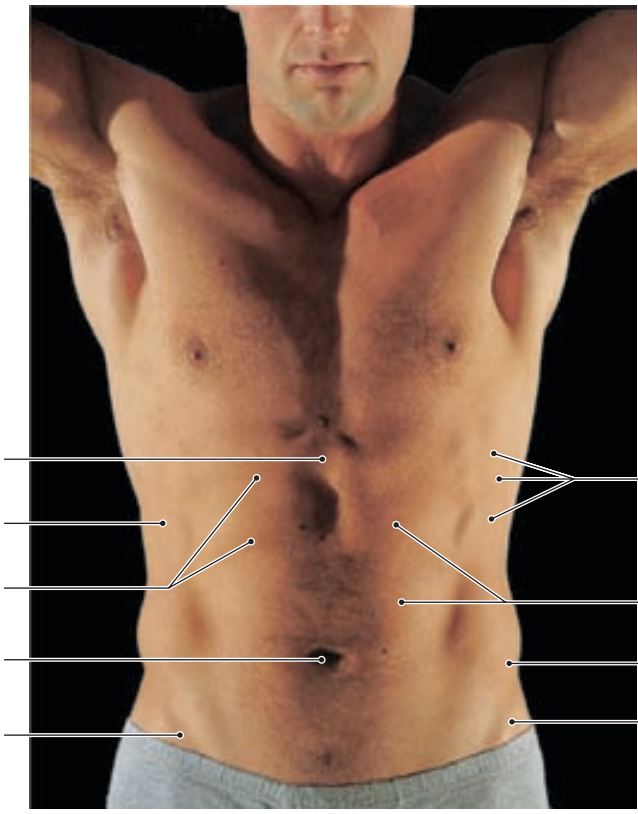
Grupo/músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
GRUPO OBLICUO				
Región cervical				
Escalenos (anterior, medio y posterior)	Apófisis transversas y costales de las vértebras cervicales C_2-C_7	Cara superior de las dos primeras costillas	Elevación de las costillas y/o flexión del cuello; en un lado solo, inclinación del cuello y rotación de la cabeza y el cuello hacia el lado contrario	Nervios espinales cervicales
Región torácica				
Intercostales externos	Borde inferior de cada costilla	Borde superior de la siguiente costilla más baja	Elevación de las costillas	Nervios intercostales (ramas de los nervios espinales torácicos)
Intercostales internos	Borde superior de cada costilla	Borde inferior de la siguiente costilla más alta	Descenso de las costillas	Igual que arriba
Transverso del tórax	Cara posterior del esternón	Cartílagos costales	Igual que arriba	Igual que arriba
Serrato posterior				
Superior	Apófisis espinosas de C_7-T_3 y ligamento nucal	Borde superior de las costillas 2-5 cerca de su ángulo	Elevación de las costillas, dilatación de la cavidad torácica	Nervios torácicos (T_1-T_4)
Inferior	Aponeurosis desde las apófisis espinosas de T_{10}-L_3	Borde inferior de las costillas 8-12	Tracción inferior de las costillas; también tracción hacia fuera, contraria al diafragma	Nervios torácicos (T_9-T_{12})
Región abdominal				
Oblicuo externo	Bordes externo e inferior de las costillas 5-12	Aponeurosis del oblicuo externo que se extiende hasta la línea alba y la cresta ilíaca	Compresión del abdomen; descenso de las costillas; flexión, flexión lateral o rotación de la columna vertebral hacia el lado contrario	Nervios intercostales 5-12, nervios iliohipogástrico e ilioinguinal
Oblicuo interno	Fascia toracolumbar y cresta ilíaca	Cara inferior de las costillas 9-12, cartílagos costales 8-10, línea alba y pubis	Igual que arriba, pero con rotación de la columna vertebral hacia el mismo lado	Igual que arriba
Transverso del abdomen	Cartílagos costales 6-12, cresta ilíaca y fascia toracolumbar	Línea alba y pubis	Compresión del abdomen	Igual que arriba
GRUPO RECTO				
Región cervical	*Incluye los músculos genihioideo, omohioideo, esternohioideo, esternotiroideo y tirohioideo de la tabla 10.6*			
Región torácica				
Diafragma	Apófisis xifoides, costillas 7-12 y cartílagos costales correspondientes, y cara anterior de las vértebras lumbares	Lámina del centro tendinoso	Con su contracción, dilatación de la cavidad torácica y compresión de la cavidad abdominopélvica	Nervios frénicos (C_3-C_5)
Región abdominal				
Recto del abdomen	Cara superior del pubis en torno a la sínfisis	Cara inferior de los cartílagos (costillas 5-7) y apófisis xifoides del esternón	Descenso de las costillas, flexión de la columna vertebral y compresión del abdomen	Nervios intercostales (T_7-T_{12})



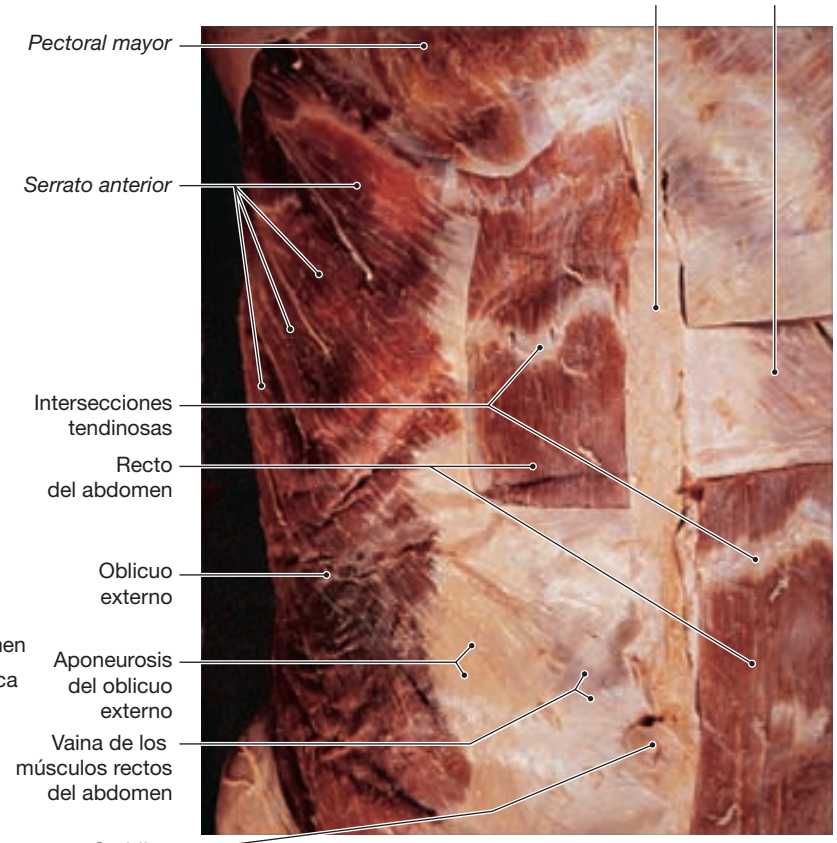
(a) Vista anterior



(b) Vista de una sección horizontal



(c) Vista anterior, anatomía de superficie



(d) Vista anterior, plano superficial

Figura 10.13 Músculos oblicuos y rectos

Los músculos oblicuos comprimen las estructuras subyacentes que quedan entre la columna vertebral y la línea media ventral; los músculos rectos son flexores de la columna vertebral. **(a)** Vista anterior del tronco, que muestra los componentes superficiales y profundos de los grupos oblicuo y recto, y el plano de la sección ofrecida en la parte (b). **(b)** Sección horizontal esquemática a través de la región abdominal. **(c)** Anatomía de superficie de la pared abdominal, vista anterior. El *músculo serrato anterior,* observado en los apartados (a) y (c), es un músculo de las extremidades detallado en el capítulo 11. **(d)** Vista superficial anterior de la pared abdominal de un cadáver. *Véanse también figuras 6.19, 6.26 y 7.11.*

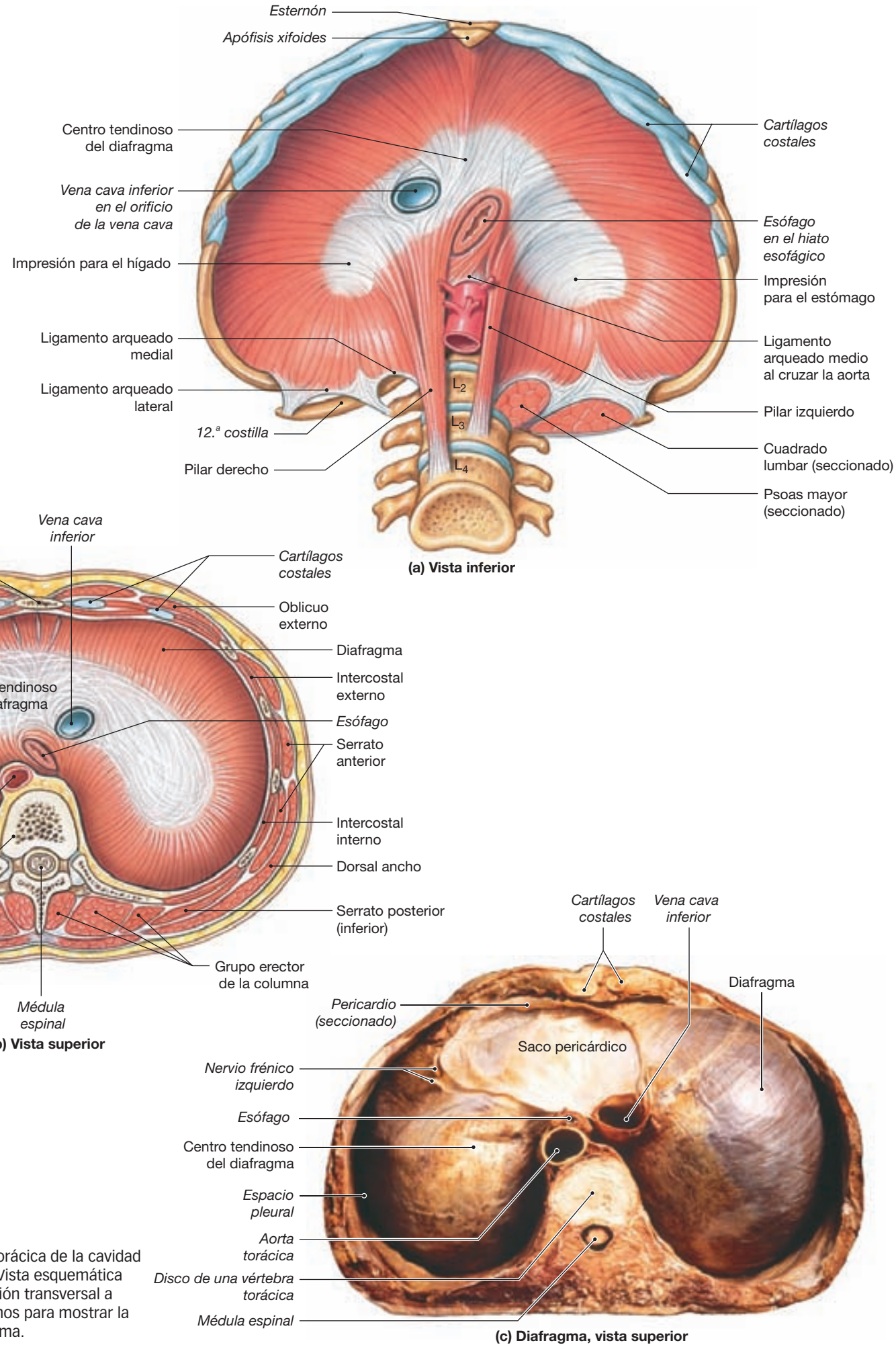


Figura 10.14 **Diafragma**

Esta hoja muscular separa la cavidad torácica de la cavidad abdominopélvica. **(a)** Vista inferior. **(b)** Vista esquemática superior. **(c)** Vista superior de una sección transversal a través del tórax, tras retirar otros órganos para mostrar la localización y la orientación del diafragma.

Se trata de los **músculos oblicuos externo** e **interno** (también llamados *oblicuos del abdomen*), los **músculos transversos del abdomen** y el **músculo recto del abdomen** (v. figura 10.13a-d). Una forma excelente de observar la relación entre estos músculos consiste en examinarlos mediante un corte horizontal (v. figura 10.13b). El músculo recto del abdomen comienza en la apófisis xifoides y finaliza cerca de la sínfisis del pubis. Este músculo se encuentra partido en sentido longitudinal por un tabique colágeno central, la **línea alba** (línea blanca). Las **intersecciones tendinosas** transversales son bandas de tejido fibroso que dividen el músculo en cuatro segmentos seguidos (v. figura 10.13a,d). En la figura 10.13c se ofrece la anatomía de superficie de los músculos oblicuos y rectos del tórax, y la del abdomen.

Diafragma [v. figura 10.14]

El término *diafragma* designa cualquier lámina muscular que forme una pared. Sin embargo, cuando se utiliza sin ningún otro calificativo, el **diafragma,** o *músculo diafragmático,* especifica el tabique muscular que separa la cavidad abdominopélvica de la torácica (v. figura 10.14). Se trata de un músculo fundamental en la respiración: su contracción aumenta el volumen de la cavidad torácica para favorecer la inspiración; su relajación lo disminuye para facilitar la espiración (los músculos de la respiración se examinarán en el capítulo 24).

Músculos del periné y del diafragma pélvico

[v. figura 10.16 y tablas 10.9/10.10]

Los músculos del periné en la pelvis y los del diafragma pélvico se extienden desde el sacro y el cóccix hasta el isquion y el pubis. Estos músculos: 1) sostienen los órganos de la cavidad pélvica; 2) flexionan las articulaciones del sacro y el cóccix, y 3) controlan el paso de las sustancias a través de la uretra y el ano (v. figura 10.16 y tablas 10.9/10.10).

Los límites del **periné** (el suelo de la pelvis y sus estructuras asociadas) quedan fijados por los bordes inferiores de la pelvis. Al trazar una línea entre las tuberosidades isquiáticas, el periné quedará dividido en dos triángulos; uno anterior o **triángulo urogenital** y otro posterior o **triángulo anal** (v. figura 10.16b). Los músculos superficiales del triángulo anterior son los de los genitales externos. Recubren a los músculos más profundos, encargados de reforzar

Nota clínica

Hernias Cuando los músculos abdominales se contraen con fuerza, la presión en la cavidad abdominopélvica puede aumentar mucho. Esta presión se aplica a las vísceras. Si la persona espira al mismo tiempo, se produce su liberación dado que el diafragma tiene la posibilidad de desplazarse hacia arriba al plegarse los pulmones. En cambio, durante unos ejercicios isométricos enérgicos o al levantar un peso con la respiración contenida, la presión de la cavidad abdominopélvica puede subir hasta 106 kg/cm^2, más o menos 100 veces su valor normal. Una presión a esos niveles es capaz de ocasionar diversos problemas, entre ellos las hernias. Las **hernias** aparecen cuando una víscera o una parte de un órgano sale de forma anormal a través de un orificio abierto en una pared muscular o en un tabique situado a su alrededor. Aunque hay muchos tipos de hernias, aquí sólo vamos a estudiar las *hernias inguinales* y las *hernias diafragmáticas.*

Durante el desarrollo final de los fetos varones, los testículos descienden hacia el escroto por los **conductos inguinales** a través de la pared abdominal. En los hombres adultos, los conductos espermáticos y sus vasos sanguíneos asociados traspasan la musculatura abdominal por los conductos inguinales en su trayecto hacia los órganos genitales abdominales, formando los *cordones espermáticos.* En una **hernia inguinal,** el conducto inguinal aumenta de tamaño y el contenido del abdomen penetra en su interior, como una porción del omento mayor, el intestino delgado o (menos veces) la vejiga urinaria (v. figura 10.15). Si las estructuras herniadas quedan retenidas o retorcidas, tal vez sea necesario operar para evitar una complicación grave. Las hernias inguinales no siempre están originadas por una presión abdominal inusitadamente alta; los traumatismos abdominales o la debilidad o distensibilidad hereditaria del conducto pueden ejercer los mismos efectos.

El esófago y los grandes vasos sanguíneos atraviesan sus orificios en el diafragma, el músculo que separa las cavidades torácica y abdominopélvica. En una **hernia diafragmática,** los órganos abdominales se deslizan hacia la cavidad torácica. Si la entrada se produce por el *hiato esofágico,* la vía de paso utilizada por el esófago, surge una *hernia de hiato* (*hiatus,* hendidura o grieta). La gravedad del proceso depende de la localización y del tamaño que tenga el órgano o los órganos herniados. Su producción es muy frecuente y la mayor parte pasan desapercibidas, aunque pueden incrementar la intensidad con la que llega el ácido gástrico al esófago (reflujo gastroesofágico, o RGE, habitualmente denominado acidez). Los radiólogos observan su presencia más o menos en el 30% de las personas a las que se explora el tubo digestivo alto mediante técnicas con contraste de bario.

Cuando surge alguna otra complicación clínica aparte del RGE, en general lo hace porque las vísceras abdominales que han empujado hacia la cavidad torácica ejercen alguna presión sobre sus órganos o sus estructuras. Al igual que las hernias inguinales, una hernia diafragmática puede derivar de factores congénitos o de una lesión que debilite o desgarre el diafragma. Si los órganos abdominales ocupan la cavidad torácica durante el crecimiento del feto, los pulmones pueden estar poco desarrollados al llegar el parto.

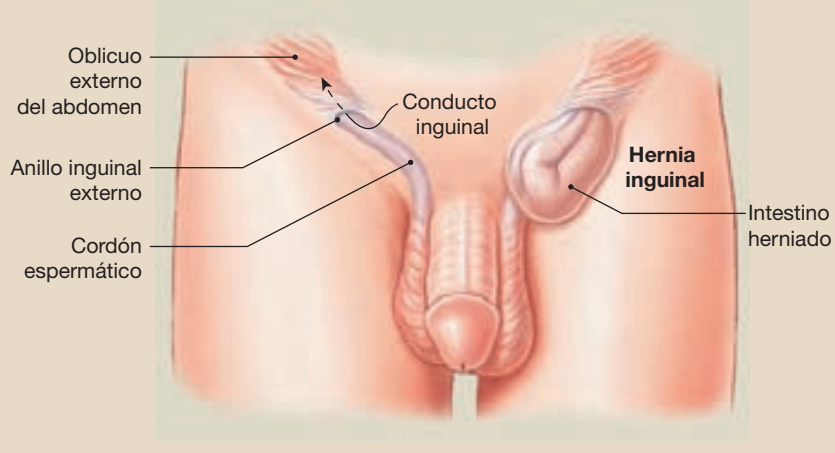


Figura 10.15 **Hernia inguinal**

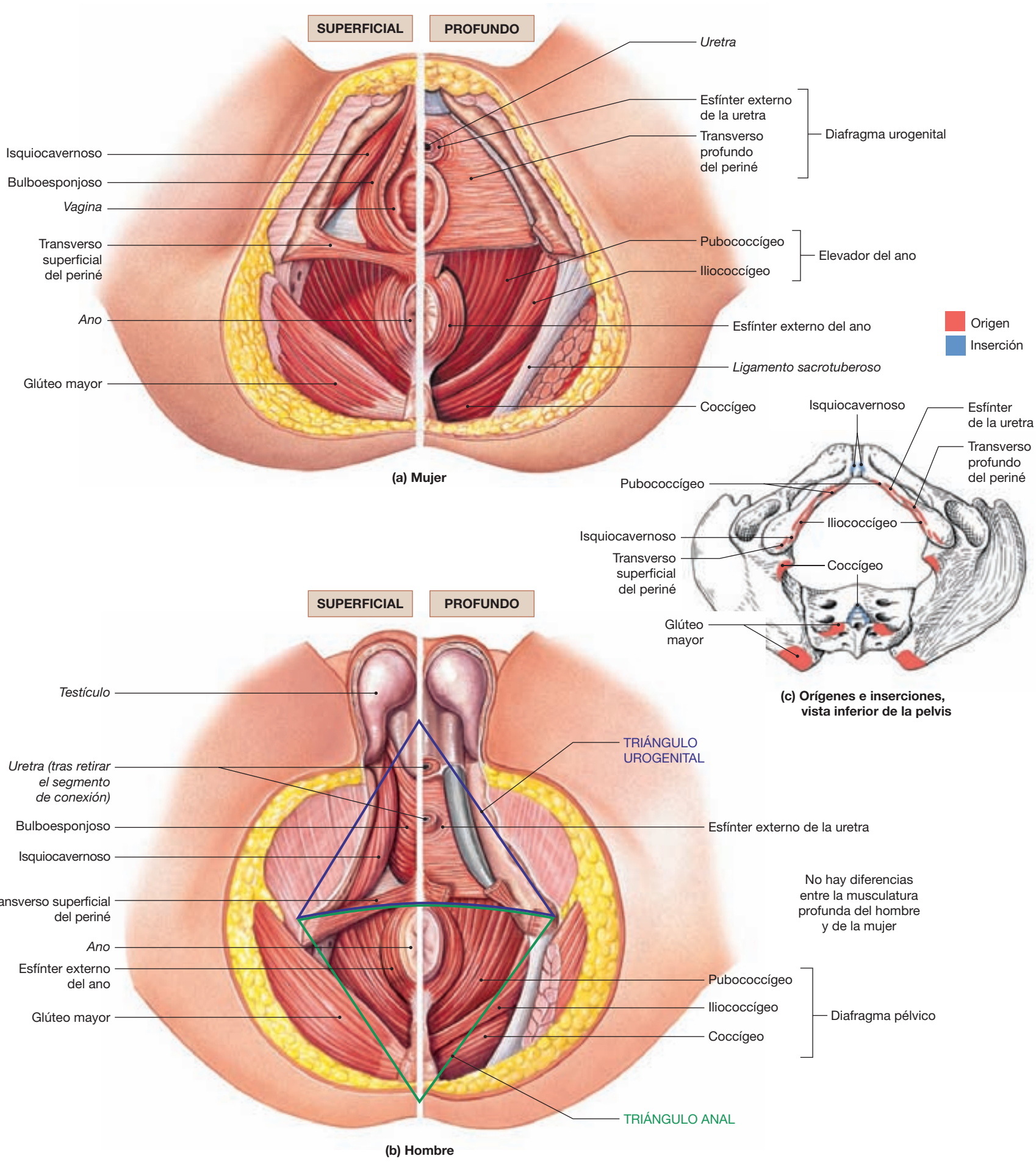


Figura 10.16 **Músculos del suelo de la pelvis**

Los músculos del suelo de la pelvis forman el triángulo urogenital y el triángulo anal, sostienen los órganos de la cavidad pélvica, flexionan el sacro y el cóccix y controlan el paso de sustancias a través de la uretra y el ano. **(a)** Vista inferior, mujer. **(b)** Vista inferior, hombre. **(c)** Diversos orígenes e inserciones. *Véanse también figuras 7.10 a 7.12.*

TABLA 10.9 Músculos del periné

Grupo/músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
TRIÁNGULO UROGENITAL				
Músculos superficiales				
Bulboesponjoso				
Hombre	Cuerpo perineal (centro tendinoso del periné) y rafe medio	Cuerpo esponjoso, membrana perineal y cuerpo cavernoso	Compresión de la base, rigidez del pene, expulsión de orina o semen	Nervio pudendo: rama perineal (S_2-S_4)
Mujer	Cuerpo perineal (centro tendinoso del periné)	Bulbo del vestíbulo, membrana perineal, cuerpo del clítoris y cuerpo cavernoso	Compresión y rigidez del clítoris, estrechamiento del orificio vaginal	Igual que arriba
Isquiocavernoso	Rama y tuberosidad isquiáticas	Cuerpo cavernoso del pene o del clítoris; también en la rama isquiopubiana (sólo en la mujer)	Compresión y rigidez del pene o el clítoris, como medio para mantener la erección	Igual que arriba
Transverso superficial del periné	Rama del isquion	Centro tendinoso del periné	Estabilización del centro tendinoso del periné	Igual que arriba
Músculos profundos				
Transverso profundo del periné	Rama del isquion	Rafe medio del diafragma urogenital	Igual que arriba	Igual que arriba
Esfínter externo de la uretra				
Hombre	Ramas del isquion y el pubis	Rafe medio en la base del pene; fibras internas que rodean a la uretra	Cierre de la uretra; compresión de la próstata y de las glándulas bulbouretrales	Igual que arriba
Mujer	Ramas del isquion y el pubis	Rafe medio; fibras internas que rodean a la uretra	Cierre de la uretra; compresión de la vagina y de las glándulas vestibulares mayores	Igual que arriba

TABLA 10.10 Músculos del diafragma pélvico

Grupo/músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
TRIÁNGULO ANAL				
Coccígeo	Espina ciática	Bordes lateral e inferior del sacro y el cóccix	Flexión de las articulaciones coccígeas; elevación y apoyo del suelo de la pelvis	Nervios sacros inferiores (S_4-S_5)
Elevador del ano				
Iliococcígeo	Espina ciática, pubis	Cóccix y rafe medio	Tensión del suelo de la pelvis, apoyo de los órganos pélvicos, flexión de las articulaciones coccígeas, elevación y retracción del ano	Nervio pudendo (S_2-S_4)
Pubococcígeo	Bordes internos del pubis	Igual que arriba	Igual que arriba	Igual que arriba
Esfínter externo del ano	Tendón procedente del cóccix	Alrededor del orificio anal	Cierre del orificio anal	Nervio pudendo; rama hemorroidal (S_2-S_4)

el suelo de la pelvis y rodear la uretra. Estos músculos profundos constituyen el llamado **diafragma urogenital,** una capa muscular que se extiende entre los huesos del pubis.

Una hoja muscular aún más amplia, el **diafragma pélvico,** constituye la base muscular del triángulo anal. Esta capa se extiende en un sentido anterior por encima del diafragma urogenital hasta llegar a la sínfisis del pubis.

Los diafragmas urogenital y pélvico no cierran del todo el estrecho inferior de la pelvis, porque la uretra, la vagina y el ano los atraviesan para desembocar sobre la superficie externa. Los esfínteres musculares rodean sus orificios y permiten el control voluntario de la micción y la defecación. También hay músculos, nervios y vasos sanguíneos que pasan el estrecho inferior de la pelvis en su recorrido hacia las extremidades inferiores o procedentes de ellas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué proceso importante interferiría una alteración de los músculos intercostales externos?
2. Si alguien le da un golpe en el músculo recto del abdomen, ¿cómo cambiaría la posición de su cuerpo?
3. ¿Cuál es la función de los músculos que componen el diafragma pélvico?
4. ¿Cuál es la función del diafragma?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo de la musculatura de la cabeza y el tronco, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

TÉRMINOS CLÍNICOS

hernia: Proceso que afecta a un órgano o a alguna parte del cuerpo que sobresale a través de un orificio anómalo.

hernia diafragmática (hernia de hiato): Hernia que aparece cuando los órganos abdominales se deslizan hacia la cavidad torácica a través de algún orificio en el diafragma.

hernia inguinal: Proceso en el que aumenta el tamaño del conducto inguinal y el contenido del abdomen se ve empujado a su interior.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 262

1. La separación del sistema óseo entre la cabeza y el tronco por un lado y las extremidades por otro ofrece una pauta útil que también sirve para subdividir el sistema muscular. La **musculatura de la cabeza y el tronco** se origina y se inserta en el esqueleto de estas regiones. Con su acción, coloca la cabeza y la columna vertebral en posición, y colabora al movimiento de la parrilla costal, lo que hace posible la respiración.

Musculatura de la cabeza y del tronco 262

1. La musculatura de la cabeza y el tronco se origina y se inserta en el esqueleto de estas regiones; con su acción, coloca la cabeza y la columna vertebral en posición y moviliza la parrilla costal. La musculatura de las extremidades estabiliza o desplaza los elementos que integran su esqueleto *(v. figuras 10.1/10.2).*
2. Los músculos de la cabeza y del tronco están organizados en los cuatro grupos siguientes, según su localización y/o su función: 1) *músculos de la cabeza* y *del cuello;* 2) *músculos de la columna vertebral;* 3) *músculos oblicuos* y *rectos,* contando el *diafragma,* y 4) *músculos del diafragma pélvico.*
3. La distribución de los músculos en los cuatro grupos incluye la descripción de su inervación. La **inervación** se refiere a la identidad del nervio que controla un músculo determinado, y se facilita en todas las tablas dedicadas a los músculos.

Músculos de la cabeza y del cuello 263

4. Los músculos de la cabeza y del cuello se dividen en varios grupos: 1) los *músculos de la expresión facial;* 2) los *músculos extraoculares;* 3) los *músculos de la masticación;* 4) los *músculos de la lengua;* 5) los *músculos de la faringe,* y 6) los *músculos anteriores del cuello.*
5. Los músculos implicados en funciones como la vista y el oído toman su origen en el cráneo.
6. Los músculos de la expresión facial se originan en la superficie del cráneo. El grupo más amplio está asociado a la boca; abarca el **orbicular de la boca** y el **buccinador.** Los **vientres frontal** y **occipital** del **músculo occipitofrontal** controlan los movimientos de las cejas, la frente y el cuero cabelludo. El **platisma** tensa la piel del cuello y desciende la mandíbula *(v. figuras 10.3 a 10.6 y tabla 10.1).*
7. Los seis **músculos extraoculares del ojo** *(músculos oculomotores)* controlan la posición y los movimientos del ojo. Son los **rectos inferior, lateral, medial** y **superior** y los **oblicuos superior** e **inferior** *(v. figura 10.5 y tabla 10.2).*
8. Los músculos de la masticación actúan sobre la mandíbula. Son los músculos **masetero, temporal** y **pterigoideo** *(medial* y *lateral) (v. figura 10.6 y tabla 10.3).*
9. Los músculos de la lengua son necesarios para hablar y para tragar, y colaboran en la masticación. Llevan nombres acabados en *–gloso,* que significa «lengua». Estos músculos son el **geniogloso, hiogloso, palatogloso** y **estilogloso** *(v. figura 10.8 y tabla 10.4).*
10. Los músculos de la faringe son importantes para poner en marcha el proceso de deglución. Abarcan los **constrictores de la faringe,** los elevadores de la laringe **(palatofaríngeo, salpingofaríngeo** y **estilofaríngeo),** y los **músculos palatinos,** que levantan el paladar blando *(v. figura 10.9 y tabla 10.5).*
11. Los músculos anteriores del cuello controlan la posición de la laringe, descienden la mandíbula, y ofrecen una base a los músculos de la lengua y de la faringe. Son los siguientes: **digástrico, milohioideo, estilohioideo** y **esternocleidomastoideo** *(v. figuras 10.3/10.4/10.10/10.11 y tabla 10.6).*

Músculos de la columna vertebral 273

12. Los músculos de la espalda están organizados en tres capas distintas (superficial, intermedia y profunda). Los *músculos extrínsecos de la espalda* más superficiales se dividen en dos capas musculares, que están inervadas por ramos ventrales de los nervios espinales. Los músculos extrínsecos de la espalda más superficiales saltan desde el esqueleto del tronco hasta la extremidad superior, y se encargan de su movimiento.
13. Sólo la más profunda de estas capas está compuesta por los *músculos intrínsecos* (o *verdaderos) de la espalda.* Estos músculos intrínsecos de la espalda están inervados por los ramos dorsales de los nervios espinales, y conectan las vértebras entre sí.
14. Los músculos intrínsecos de la espalda también están dispuestos en capas (superficial, intermedia y profunda). La capa superficial contiene los **músculos esplenios** del cuello y la parte superior del tórax, mientras que el grupo intermedio consta de los músculos del tronco *erectores de la columna.* La capa profunda está formada por los *músculos transversoespinosos,* que comprenden el **grupo semiespinoso** y los **músculos multífidos, rotadores, interespinosos** e **intertransversos.** Estos músculos conectan las vértebras entre sí y las estabilizan *(v. figura 10.12 y tabla 10.7).*
15. Otros músculos de la columna vertebral son el **largo de la cabeza** y el **largo del cuello,** que rotan y flexionan esta última región, y los **músculos cuadrados lumbares** en la región lumbar, que flexionan la columna y descienden la costillas *(v. figura 10.12 y tabla 10.7).*

Músculos oblicuos y rectos 276

16. Los músculos oblicuos y rectos están situados entre la columna vertebral y la línea media ventral. Los músculos oblicuos del abdomen **(músculos oblicuos externo** e **interno)** comprimen las estructuras subyacentes o rotan la columna vertebral; el **músculo recto del abdomen** es un flexor de la columna vertebral.
17. Los músculos oblicuos del cuello y el tórax comprenden los músculos **escalenos,** los **intercostales** y el **transverso.** Los **intercostales externos** y los **intercostales internos** tienen importancia para los movimientos respiratorios de las costillas *(v. figura 10.13 y tabla 10.8).*
18. El **diafragma** *(músculo diafragmático)* también es importante en la respiración. Separa la cavidad abdominopélvica de la torácica *(v. figura 10.14).*

Músculos del periné y del diafragma pélvico 279

19. Los músculos del periné y del diafragma pélvico se extienden desde el sacro y el cóccix hasta el isquion y el pubis. Estos músculos: 1) sostienen los órganos de la cavidad pélvica; 2) flexionan las articulaciones del sacro y el cóccix, y 3) controlan el paso de las sustancias a través de la uretra y el ano.
20. El **periné** (el suelo de la pelvis y sus estructuras asociadas) puede dividirse en un **triángulo urogenital** o anterior y un **triángulo anal** o posterior. El suelo de la pelvis consta del **diafragma urogenital** y el **diafragma pélvico** *(v. figura 10.16 y tablas 10.9/10.10).*

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. espinal	a. compresión de las mejillas
___ 2. periné	b. elevación de la laringe
___ 3. buccinador	c. tensión de la piel del cuello
___ 4. extraoculares	d. suelo de la pelvis/estructuras asociadas
___ 5. intercostales	e. elevación de la mandíbula
___ 6. estilohioideo	f. movimiento de las costillas
___ 7. recto inferior	g. retracción de la lengua
___ 8. temporal	h. extensión del cuello
___ 9. platisma	i. músculos del ojo
___10. estilogloso	j. desviación hacia abajo del ojo

11. ¿Cuál de los siguientes músculos no comprime el abdomen?
    (a) diafragma
    (b) intercostal interno
    (c) oblicuo externo
    (d) recto del abdomen

12. El músculo que se origina en el pubis es el:
    (a) oblicuo interno
    (b) recto del abdomen
    (c) transverso del abdomen
    (d) escaleno

13. La cresta ilíaca es el origen del:
    (a) cuadrado lumbar (b) iliocostal cervical
    (c) longísimo del cuello (d) esplenio

14. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe la acción del músculo digástrico?
    (a) elevación de la laringe
    (b) elevación de la laringe y descenso de la mandíbula
    (c) descenso de la laringe
    (d) elevación de la mandíbula

15. ¿Cuál de los siguientes músculos tiene su inserción en los cartílagos de las costillas?
    (a) diafragma (b) intercostal externo
    (c) transverso del tórax (d) escaleno

16. Parte de los músculos de la lengua están inervados por el:
    (a) nervio hipogloso (N XII) (b) nervio troclear (N IV)
    (c) nervio abducens (N VII) (d) b y c son correctas

17. Todas las afirmaciones siguientes sobre los músculos del suelo de la pelvis son correctas, excepto:
    (a) se extienden entre el sacro y la cintura pélvica
    (b) forman el periné
    (c) «ajustan» los movimientos del muslo con respecto a la pelvis
    (d) rodean a los orificios existentes en el estrecho inferior de la pelvis

18. Los músculos del tronco correspondientes a la columna controlan la posición de la:
    (a) cabeza, cuello y cintura escapular
    (b) cabeza, cuello y columna vertebral
    (c) columna vertebral en solitario
    (d) columna vertebral y cinturas escapular y pélvica

19. Los escalenos tienen su origen en:
    (a) las apófisis transversas y costales de las vértebras cervicales
    (b) el borde inferior de la costilla anterior
    (c) los cartílagos de las costillas
    (d) la fascia toracolumbar y la cresta ilíaca

20. ¿Qué nervio craneal es el afectado con mayor probabilidad si una persona no puede mover el ojo derecho para mirar en sentido lateral?
    (a) nervio oculomotor
    (b) nervio trigémino
    (c) nervio facial
    (d) nervio abducens

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Durante una operación abdominal, el cirujano realiza una incisión a través del músculo situado directamente a la derecha de la línea alba. El músculo cortado sería el:
    (a) digástrico
    (b) oblicuo externo
    (c) recto del abdomen
    (d) escaleno

2. Ryan oye un ruido fuerte y levanta rápidamente los ojos para mirar hacia arriba en la dirección del sonido. Al ejecutar esta acción, debe utilizar sus músculos:
    (a) rectos superiores
    (b) rectos inferiores
    (c) oblicuos superiores
    (d) rectos laterales

3. ¿Cuál de los siguientes músculos no interviene en la deglución?
    (a) constrictor superior
    (b) pterigoideos
    (c) palatofaríngeo
    (d) estilofaríngeo

4. ¿Cuál de las siguientes características corresponde a todos los músculos de la masticación en común?
    (a) comparten su inervación por el nervio oculomotor
    (b) también son músculos de la expresión facial
    (c) mueven la mandíbula en la articulación temporomandibular
    (d) permiten que una persona sonría

5. Los músculos de la columna vertebral constan de muchos extensores dorsales pero pocos flexores ventrales. ¿Por qué?

6. ¿Qué función cumplen los músculos de la lengua en la deglución?

7. ¿Cuál es el efecto de la contracción del músculo oblicuo interno?

8. ¿Cuáles son las funciones de los músculos anteriores del cuello?

9. ¿Cuál es la función del diafragma? ¿Por qué se le incluye dentro de la musculatura de la cabeza y el tronco?

10. ¿Qué músculos participan en el control de la posición de la cabeza sobre la columna vertebral?

Nivel 3 Pensamiento crítico

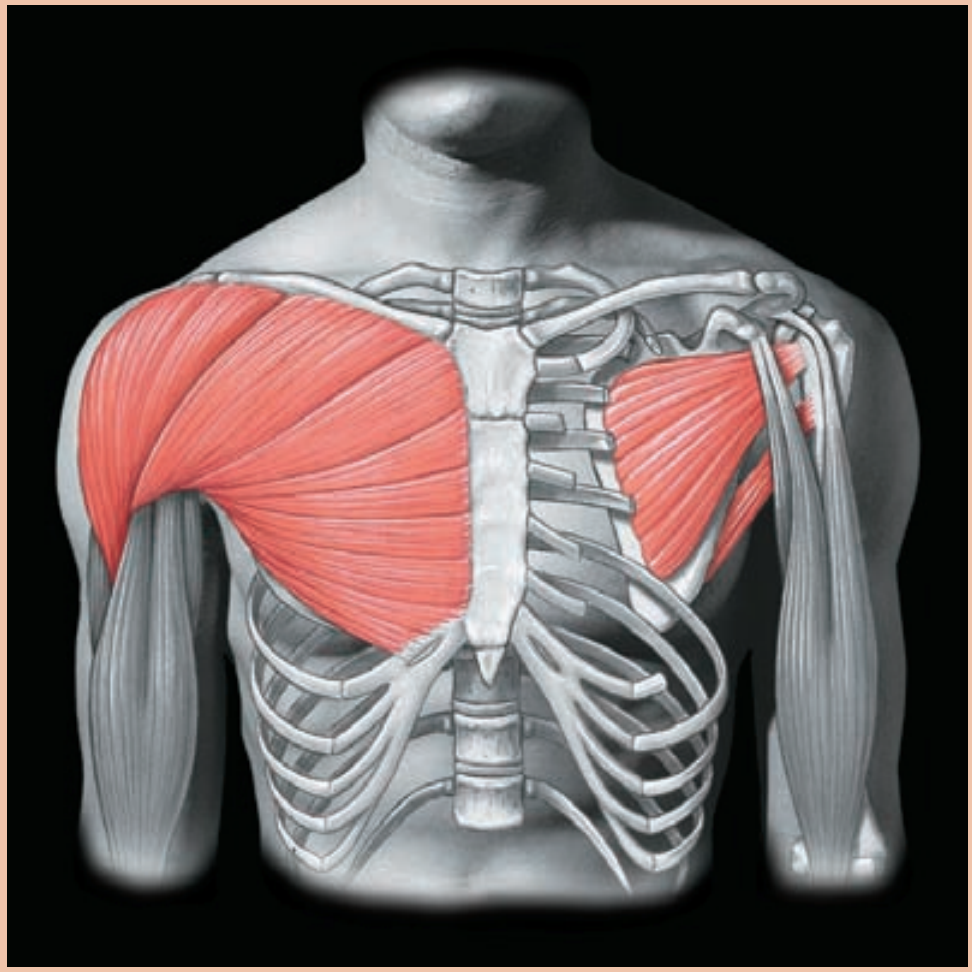
1. ¿Cómo controlan los músculos del triángulo anal las funciones de esta zona?

2. Mary ve que Jill se acerca y, de inmediato, contrae los músculos frontal y piramidal de la nariz. ¿Está contenta de verla? ¿Cómo puede saberlo?

11

Sistema muscular

Musculatura de las extremidades



Introducción 285

Factores que influyen sobre la función de los músculos de las extremidades 285

Músculos de la cintura escapular y de las extremidades superiores 285

Músculos de la cintura pélvica y de las extremidades inferiores 302

Fascia, capas musculares y compartimentos 318

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las funciones que cumple la musculatura de las extremidades.
2. Identificar los principales músculos de las extremidades y localizarlos en el cuerpo, además de sus orígenes e inserciones, y describir su inervación y sus acciones.
3. Comparar los grupos musculares fundamentales de las extremidades superior e inferior y poner en relación sus diferencias con las variaciones existentes entre sus cometidos funcionales.
4. Describir y comparar los compartimentos separados por fascias en el brazo, el antebrazo, el muslo y la pierna.

En este capítulo, describiremos la **musculatura de las extremidades.** Estos músculos son los responsables de estabilizar las cinturas escapular y pélvica y de mover las extremidades superiores e inferiores. Los músculos de las extremidades suman más o menos el 40% de todos los músculos estriados del organismo.

Esta explicación presupone un conocimiento de la anatomía ósea y, según se avance por el texto, puede resultar útil efectuar un repaso de las figuras en los capítulos 6 y 7. A lo largo de las próximas páginas, en el pie de cada figura se menciona el número correspondiente de las vistas pertenecientes a los citados capítulos.

En las extremidades hay dos grupos principales de músculos: 1) los músculos de la cintura escapular y de la extremidad superior, y 2) los músculos de la cintura pélvica y de la extremidad inferior. Existen grandes variaciones entre estos grupos en cuanto a sus funciones y la amplitud exigida a sus movimientos. Las conexiones musculares que unen la cintura escapular con el esqueleto del tronco aumentan la movilidad de la extremidad superior porque los elementos óseos no quedan bloqueados en su posición con respecto a los del tronco. Además, estos músculos también actúan como amortiguadores. Por ejemplo, las personas pueden hacer ejercicio sin dejar de realizar movimientos finos con las manos porque los músculos de las extremidades absorben los impactos y las sacudidas, lo que aplaca el rebote de las zancadas. Por el contrario, la cintura pélvica ha desarrollado una potente conexión ósea para transmitir el peso desde el esqueleto de la cabeza y del tronco al de las extremidades. Se antepone la resistencia sobre la versatilidad, y las mismas características que refuerzan las articulaciones, limitan su amplitud de movimientos [pp. 208-210].

Factores que influyen sobre la función de los músculos de las extremidades

En este capítulo, puede aprender el origen, la inserción, la acción y la inervación de los músculos de las extremidades. Para no perderse en los detalles, no se olvide nunca de relacionar la información anatómica con las funciones musculares. El objetivo de la anatomía no estriba en la memorización, sino en la comprensión. Utilice lo que sabe para hacer un pronóstico y compruébelo. Si conoce el origen y la inserción, debería ser capaz de predecir la acción; si conoce el origen y la acción, puede aventurar la inserción más probable. Las múltiples figuras de este capítulo le van a prestar ayuda para entresacar los datos más importantes y apreciar las relaciones tridimensionales de cada caso.

La acción ejecutada por un músculo sobre cualquier articulación en gran medida depende de la estructura que tenga esa articulación y del lugar que ocupe su inserción muscular con respecto al eje del movimiento articular. La amplitud de los movimientos articulares, y su carácter monoaxial, biaxial o triaxial, está en función de su diseño anatómico [pp. 206, 209]. El conocimiento de qué movimientos permite la anatomía de una articulación concreta servirá para entender o poder prever las acciones ejercidas por un músculo determinado sobre ella. Por ejemplo, dado que el codo es un gínglimo, ninguno de los músculos relacionados con él puede provocar su rotación.

Después de dominar la serie de los movimientos posibles, la orientación adoptada por un músculo con respecto a una articulación servirá para determinar su acción a ese nivel. Al acortarse, cualquier músculo crea una tensión. Si se coloca una cuerda con un cabo en el origen del músculo y el otro en su inserción, la posición que tome va a seguir la dirección de la tensión ejercida. Esto es lo que se denomina la *línea de acción* del músculo. Tras haber establecido su trayecto, pueden aplicarse las siguientes reglas:

1. En las articulaciones que permiten la flexión y la extensión, los músculos cuya línea de acción cruce su cara anterior se comportan como flexores y los que lo hacen por su cara posterior son extensores.
2. En las articulaciones que permiten la aducción y la abducción, los músculos cuya línea de acción cruce su cara medial son aductores y los que cruce su cara lateral son abductores.
3. En las articulaciones que permiten la rotación, los músculos cuya línea de acción cruce la cara medial pueden producir su rotación medial, mientras que los que pasan por su cara lateral pueden producir una rotación lateral.

La determinación de la zona de inserción de un músculo con respecto al eje de la articulación aportará unos detalles complementarios acerca de las funciones que cumpla a ese nivel. La acción fundamental de un músculo cuya inserción esté próxima a la articulación será la producción de movimiento sobre ella. Sin embargo, si queda considerablemente lejos, *además* de ponerla en movimiento en líneas generales servirá para estabilizarla (v. figura 11.1).

Músculos de la cintura escapular y de las extremidades superiores

[v. figuras 11.2/11.5]

Los músculos asociados a la cintura escapular y a la extremidad superior pueden dividirse en cuatro grupos: 1) *músculos que colocan la cintura escapular en posición;* 2) *músculos que mueven el brazo;* 3) *músculos que mueven el antebrazo y la mano,* y 4) *músculos que mueven la mano y los dedos.* Junto con la descripción de los diversos músculos de la cintura escapular y de la extremidad supe-

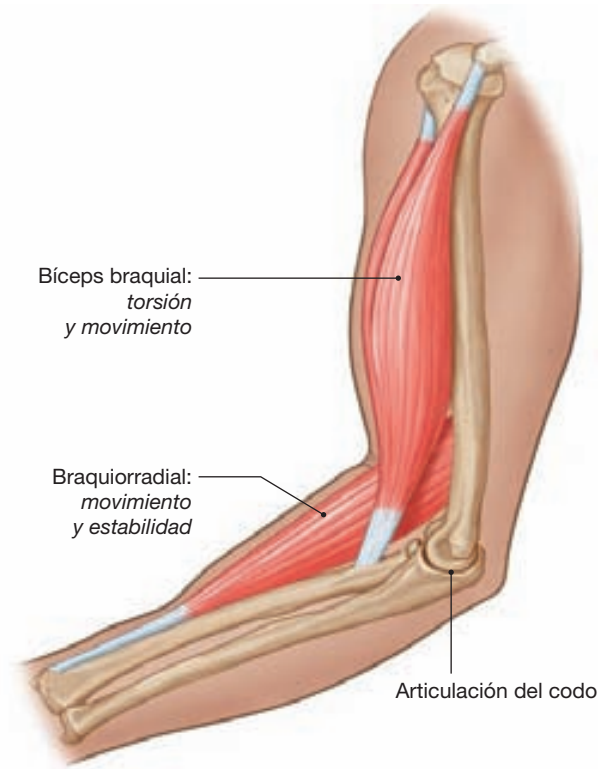


Figura 11.1 Esquema que representa las inserciones del músculo bíceps braquial y del músculo braquiorradial
La acción fundamental de un músculo cuya inserción esté próxima a una articulación será la producción de movimiento sobre ella, tal como muestra el músculo bíceps braquial. Sin embargo, si queda considerablemente lejos, como sucede en esta figura con el músculo braquiorradial, además de ponerla en movimiento en líneas generales servirá para estabilizarla.

rior, consulte primero la **figura 11.2** y después la **figura 11.5** para conocer la localización general del músculo en estudio.

Músculos que colocan la cintura escapular en posición [v. figuras 11.2 a 11.6 y tabla 11.1]

Los músculos que colocan la cintura escapular en posición funcionan coordinados con los que mueven el brazo. La amplitud de los movimientos del brazo en su integridad requiere el desplazamiento simultáneo de la cintura escapular. Los movimientos de esta última son el resultado de la acción de los músculos representados en las **figuras 11.2** a **11.6** y en la tabla 11.1.

Los grandes **músculos trapecios** cubren la espalda y una porción del cuello, llegando hasta la base del cráneo. Estos músculos se originan a lo largo de la línea media del cuello y de la espalda, y se insertan en las clavículas y en la espina de las escápulas. En conjunto, estos músculos triangulares forman un rombo ancho (**v. figuras 11.2** y **11.3**). La inervación que reciben procede de más de un nervio (v. tabla 11.1). Debido a que puede lograrse su contracción independiente por regiones específicas, tienen una acción bastante variada.

La resección del trapecio descubre los **músculos romboides** y **elevador de la escápula** (**v. figuras 11.2** y **11.3**). Estos músculos están fijados a la cara dorsal de las vértebras cervicales y torácicas, y se insertan a lo largo del borde vertebral de cada escápula, entre sus ángulos superior e inferior. La contracción de los músculos romboides causa la aducción (retracción) de la escápula, lo que tira de

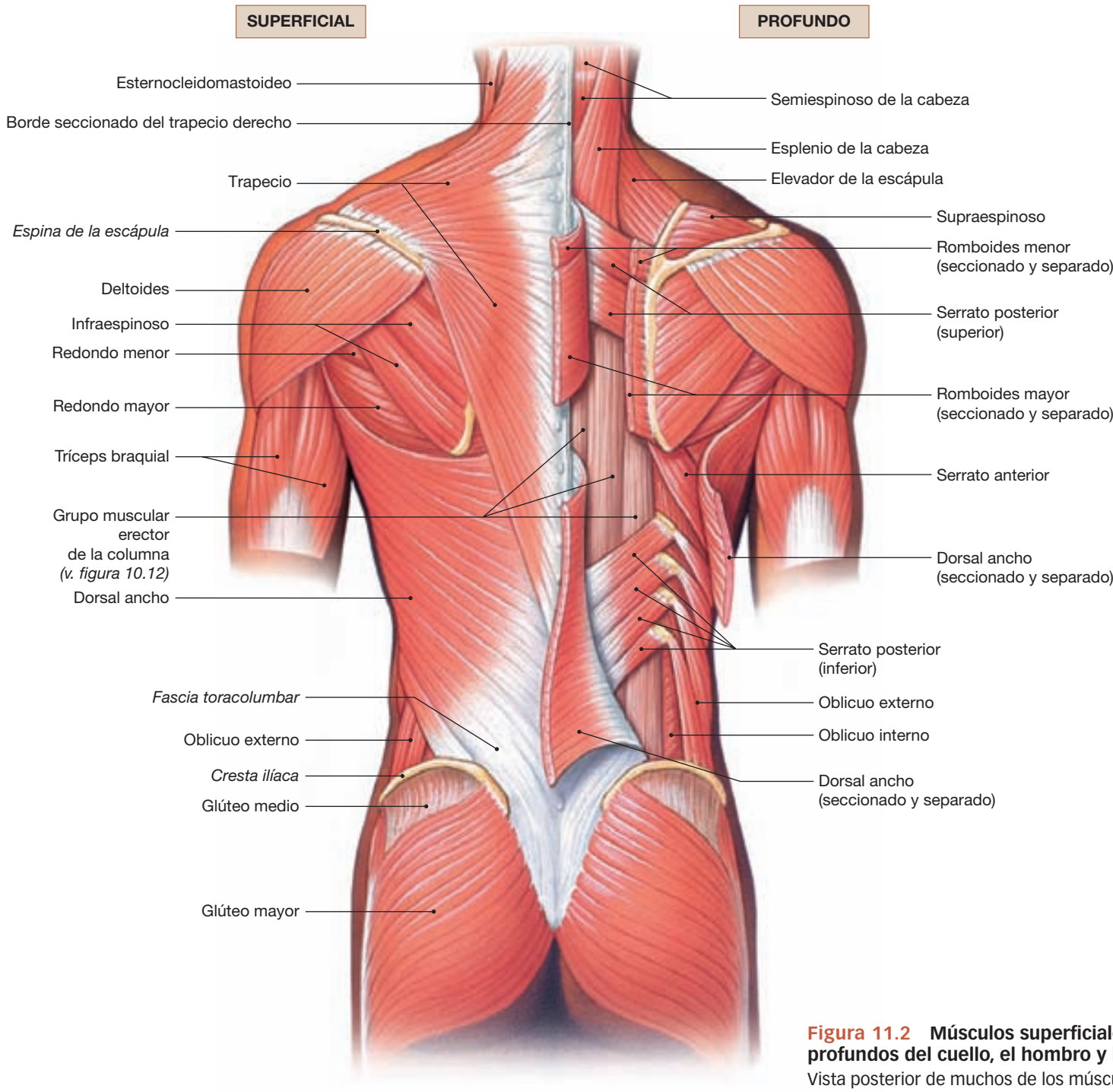


Figura 11.2 Músculos superficiales y profundos del cuello, el hombro y la espalda
Vista posterior de muchos de los músculos más importantes del cuello, el tronco y de la porción proximal de las extremidades superiores.

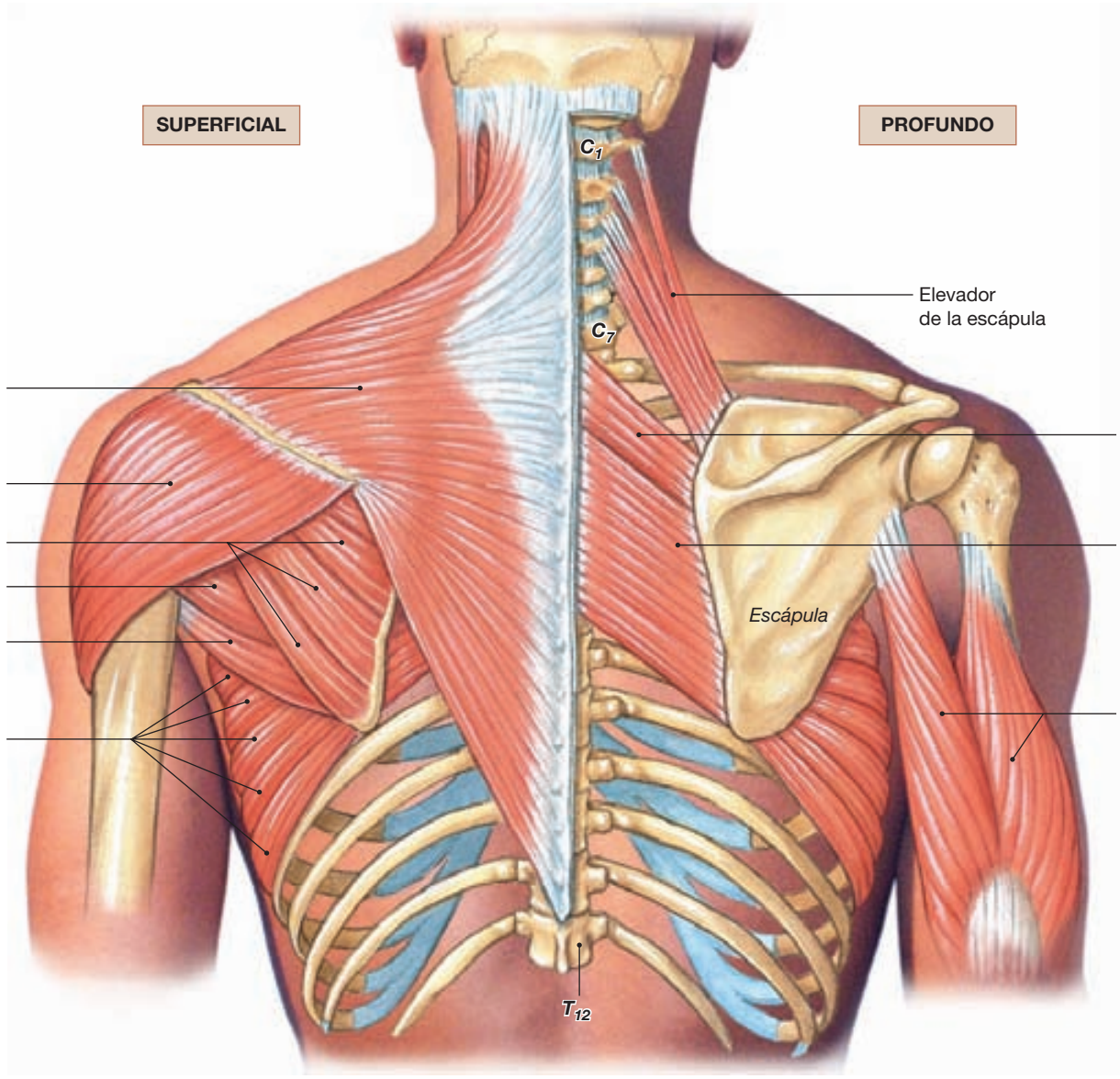


Figura 11.3 Músculos que colocan la cintura escapular en posición, parte I
Vista posterior, que ofrece los músculos superficiales y profundos de la cintura escapular. *Véanse también figuras 6.26, 7.4 y 8.11.* Véase *figura 11.6c para consultar las inserciones de algunos de los músculos recogidos en ella.*

TABLA 11.1 Músculos que colocan la cintura escapular en posición

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Elevador de la escápula	Apófisis transversas de las cuatro primeras vértebras cervicales	Borde vertebral de la escápula cerca de su ángulo superior	Elevación de la escápula	Nervios cervicales C_3-C_4 y nervio dorsal de la escápula (C_5)
Pectoral menor	Cara anterior y borde superior de las costillas 3-5 y fascia que recubre a los músculos intercostales externos correspondientes	Apófisis coracoides de la escápula	Descenso y propulsión del hombro; rotación de la escápula con movimiento inferior de la cavidad glenoidea (rotación hacia abajo); elevación de las costillas si la escápula está fija	Nervio pectoral medial (C_8,T_1)
Romboides mayor	Apófisis espinosas de las vértebras torácicas superiores	Borde vertebral de la escápula desde la espina hasta el ángulo inferior	Aducción y rotación hacia abajo de la escápula	Nervio dorsal de la escápula (C_5)
Romboides menor	Apófisis espinosas de las vértebras C_7-T_1	Borde vertebral de la escápula	Igual que arriba	Igual que arriba
Serrato anterior	Bordes anterior y superior de las costillas 1-8 o 1-9	Cara anterior del borde vertebral de la escápula	Propulsión del hombro; rotación de la escápula con movimiento superior de la cavidad glenoidea (rotación hacia arriba)	Nervio torácico largo (C_5-C_7)
Subclavio	Primera costilla	Clavícula (borde inferior)	Descenso y propulsión del hombro	Nervio subclavio (C_5-C_6)
Trapecio	Hueso occipital, ligamento nucal y apófisis espinosas de las vértebras torácicas	Clavícula y escápula (acromion y espina de la escápula)	Depende de la región activa y del estado de otros músculos; elevación, retracción, descenso o rotación de la escápula hacia arriba y/o de la clavícula; también extensión del cuello	Nervio accesorio (N XI)

ella hacia el centro de la espalda. También rota este hueso hacia abajo, una acción que desplaza la cavidad glenoidea en sentido inferior, y el ángulo inferior de la escápula en sentido medial y superior (**v. figura 7.5**) [p. 178]. Los músculos elevadores de la escápula ascienden este hueso, como sucede al encogerse de hombros.

En la pared lateral del tórax, el **músculo serrato anterior** se origina sobre las caras anterior y superior de varias costillas (**v. figuras 11.3** y **11.4**). Este músculo tiene forma de abanico y se inserta a lo largo de la parte anterior del borde vertebral de la escápula. Su contracción da lugar a una abducción (protracción) de la escápula y un giro del hombro hacia adelante.

Otros dos músculos más profundos del tórax nacen sobre la cara ventral de las costillas. El **músculo subclavio** (*sub,* debajo + *clavius,* clavícula) se inserta sobre el borde inferior de la clavícula (**v. figuras 11.4** y **11.5**). Al contraerse, desciende su extremo escapular y lo desplaza hacia adelante. Debido a los ligamentos que lo conectan con la articulación del hombro y con la escápula, su acción también desplaza estas estructuras. El **músculo pectoral menor** se inserta en la apófisis coracoides de la escápula (**v. figuras 11.4** y **11.5**). Su contracción suele ser complementaria a la del subclavio. La tabla 11.1 identifica los músculos que movilizan la cintura escapular y los nervios que se hacen cargo de ellos.

Músculos que mueven el brazo [v. figuras 11.2/11.5 a 11.7 y tabla 11.2]

Los músculos que mueven el brazo son más sencillos de recordar si se los reúne según sus acciones fundamentales. Una parte de este grupo se ve mejor en las vistas posteriores (**v. figura 11.2**) y la otra en las vistas anteriores (**v. figura 11.5**). La información sobre los músculos que actúan sobre el brazo se resume en la tabla 11.2. El **músculo deltoides** es el principal abductor del brazo, pero el **músculo supraespinoso** colabora al inicio de este movimiento. Los **músculos subescapular** y **redondo mayor** rotan el brazo en sentido medial, mientras que los **músculos infraespinoso** y **redondo menor** lo hacen en sentido lateral. Todos ellos se originan en la escápula. El pequeño **músculo coracobraquial** (**v. figura 11.6a**) es el único de los que se fija en la escápula que produce una flexión con aducción en la articulación del hombro.

El **músculo pectoral mayor** salta desde la porción anterior del tórax hasta la cresta del tubérculo mayor del húmero. El **músculo dorsal ancho** se extiende a partir de las vértebras torácicas, a la altura de la línea media posterior, hasta el suelo del surco intertubercular del húmero (**v. figuras 11.3** a **11.6**).

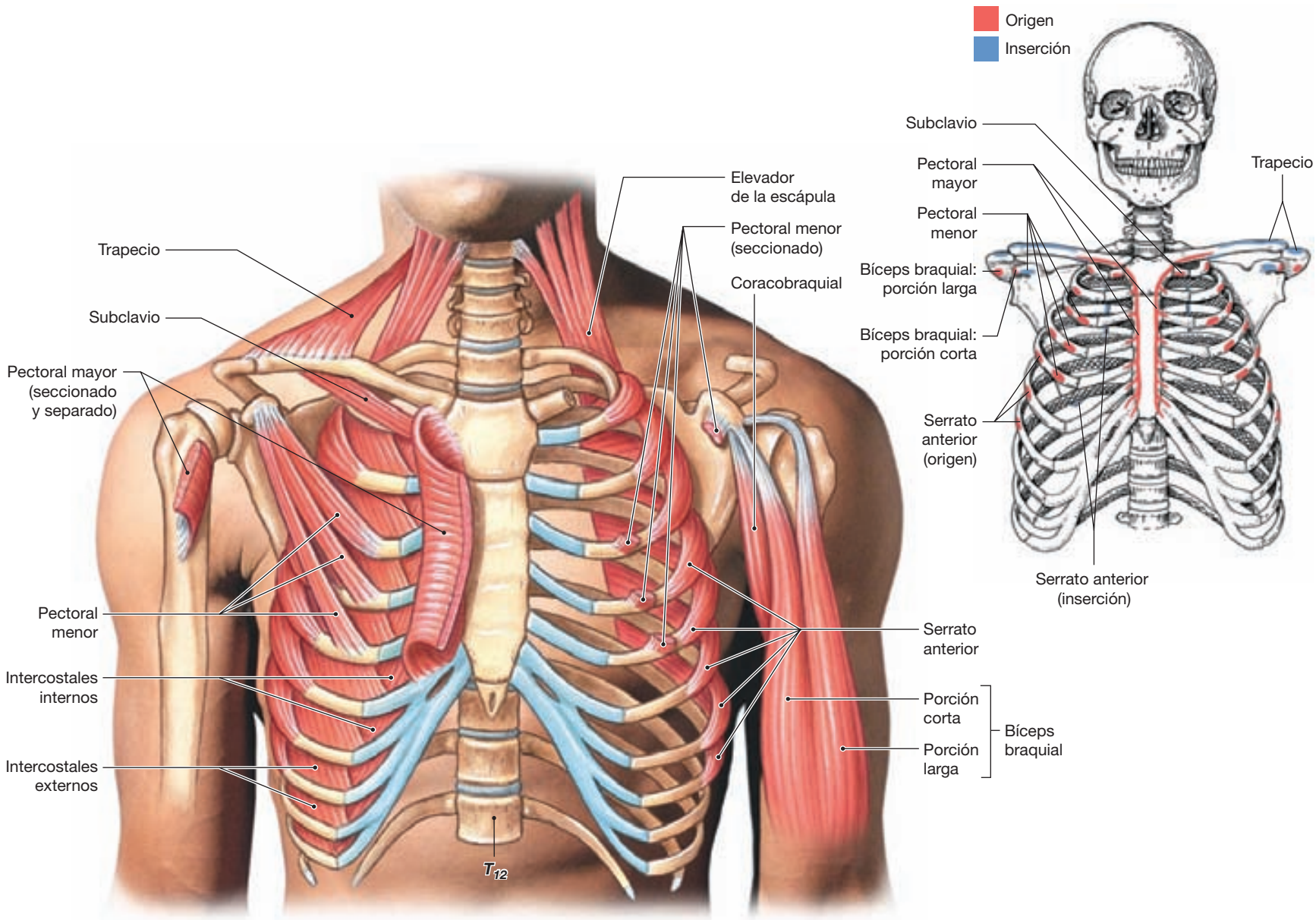


Figura 11.4 Músculos que colocan la cintura escapular en posición, parte II
Vista anterior, que ofrece los músculos superficiales y profundos de la cintura escapular. Se detallan determinados orígenes e inserciones.

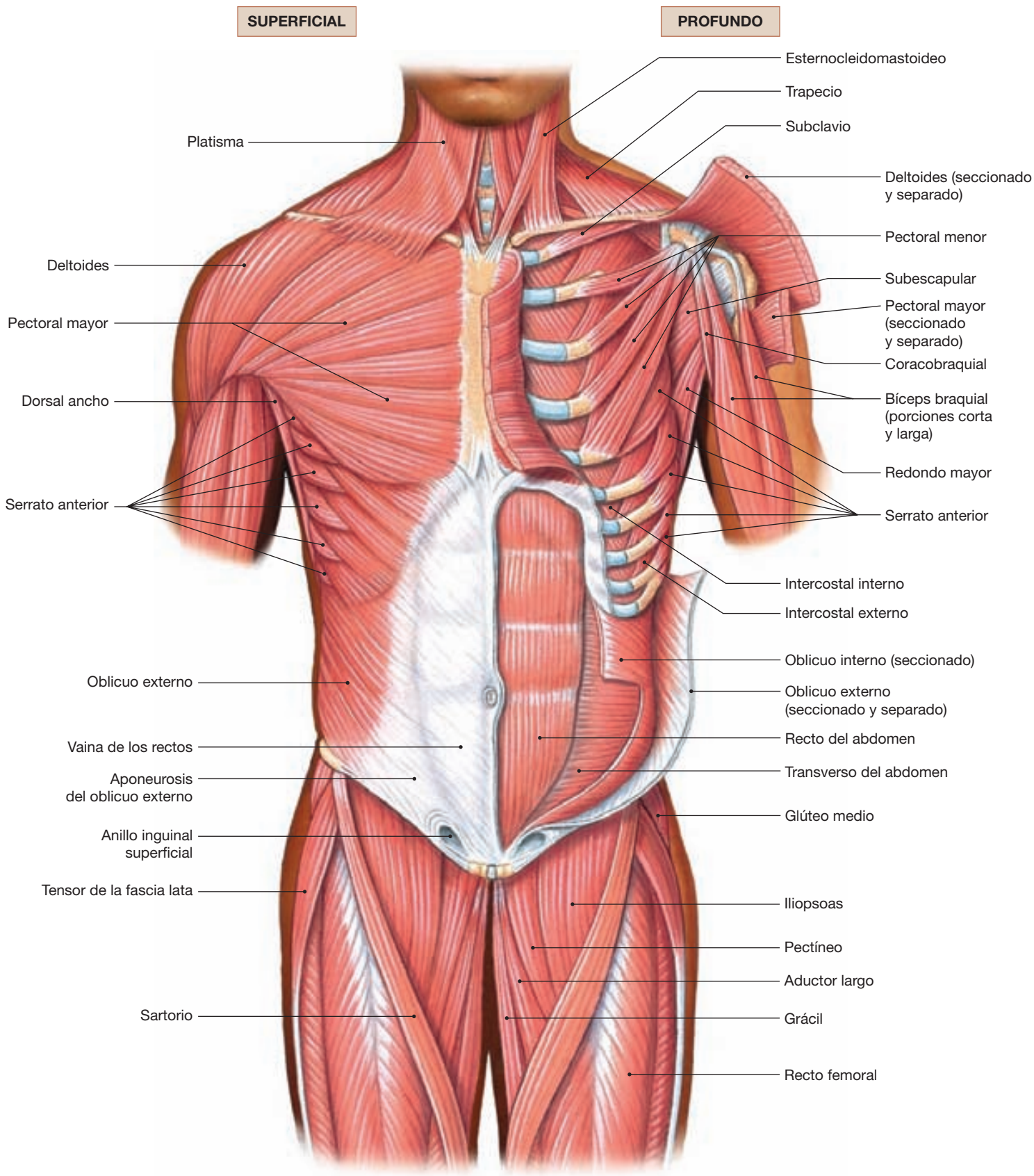


Figura 11.5 Músculos superficiales y profundos del tronco y de la parte proximal de las extremidades
Vista anterior de los músculos del tronco y de las extremidades asociados a las cinturas escapular y pélvica y a las porciones proximales de los miembros.

El **músculo pectoral** mayor flexiona la articulación del hombro, y el **músculo dorsal ancho** la extiende. Asimismo, también pueden actuar juntos para producir la aducción y la rotación medial del húmero en la articulación del hombro.

El hombro es una articulación muy móvil pero relativamente débil (**v. figuras 7.5, 7.6** y **8.11**) **[pp. 178, 180-181, 218]**. Los tendones de los músculos supraespinoso, infraespinoso, subescapular y redondo menor se fusionan con el tejido conjuntivo de su cápsula y forman el *manguito de los rotadores.* Esta estructura mantiene la cápsula articular y la refuerza durante la realización de una gran amplitud de movimientos. Los ademanes enérgicos y repetidos del brazo tan frecuentes en algunos deportes (como al lanzar una bola en línea recta a 150 km/h en muchas mangas) pueden suponer un esfuerzo físico intolerable para los músculos del manguito de los rotadores, que desemboque en una lesión tendinosa, una distensión muscular, una bursitis y otras alteraciones generadoras de dolor.

Más arriba, en este mismo capítulo, explicamos cómo la línea de acción de un músculo podía emplearse para pronosticar sus funciones, y se ofrecieron tres reglas generales. La **figura 11.7** muestra la posición de los músculos bíceps braquial, tríceps braquial y deltoides con respecto a la articulación del hombro, y vuelve a plantear dichas reglas. La línea de acción del músculo bíceps braquial sigue un trayecto anterior al eje de la articulación del hombro, mientras que la del tríceps braquial es posterior. Aunque ninguno de ellos se inserta en el húmero, el músculo bíceps braquial es un flexor del hombro y el tríceps, un extensor.

La línea de acción de la porción clavicular o anterior del músculo deltoides también cruza el eje de la articulación del hombro en una posición anterior durante su trayecto para insertarse en el húmero. Este componente produce una flexión y una rotación medial en el hombro. En su porción escapular o posterior lleva un recorrido posterior a su eje. Así pues, va a provocar la extensión y la rotación lateral del hombro. La contracción de todo el músculo deltoides causa la abducción del hombro porque la línea de acción del músculo tomado en su conjunto pasa lateral al eje de la articulación.

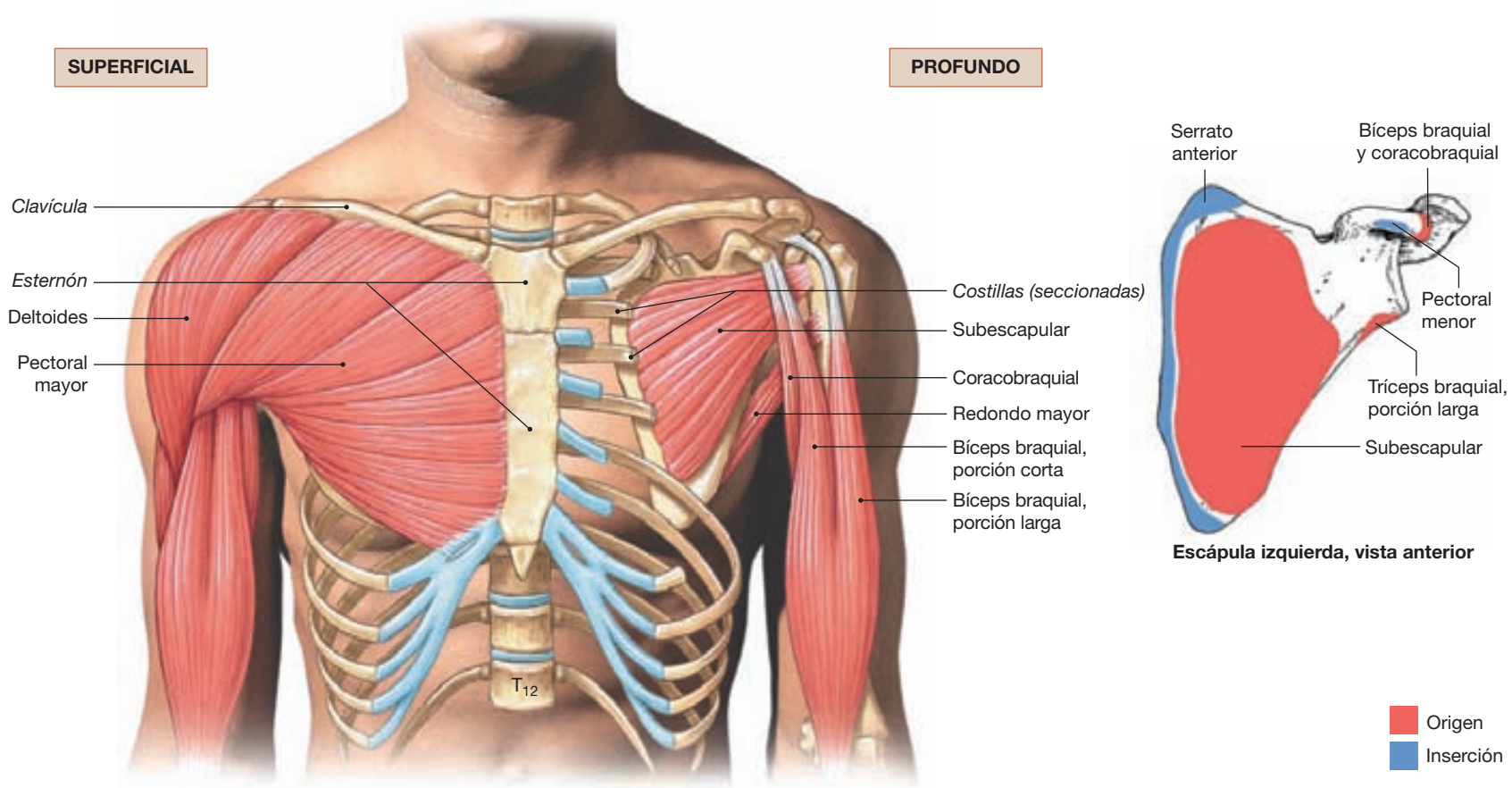
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. A veces, los lanzadores de béisbol sufren lesiones en el manguito de los rotadores. ¿Qué músculos están afectados en este tipo de alteraciones?
2. Identifique el músculo con forma de abanico que se inserta sobre la parte anterior del borde vertebral de la escápula y la protrae con su acción.
3. ¿Cuál es el músculo fundamental para la abducción en la articulación del hombro?
4. ¿Qué dos músculos producen la extensión, aducción y rotación medial en la articulación del hombro?

Véase «Respuestas» al final del libro.

TABLA 11.2 Músculos que mueven el brazo

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Coracobraquial	Apófisis coracoides	Borde medial de la diáfisis del húmero	Aducción y flexión del hombro	Nervio musculocutáneo (C_5-C_7)
Deltoides	Clavícula y escápula (acromion y espina de la escápula adyacente)	Tuberosidad deltoidea del húmero	*Músculo íntegro:* abducción del hombro; *porción anterior:* flexión y rotación medial del húmero; *porción posterior:* extensión y rotación lateral del húmero	Nervio axilar (C_5-C_6)
Supraespinoso	Fosa supraespinosa de la escápula	Tubérculo mayor del húmero	Abducción del hombro	Nervio supraescapular (C_5)
Infraespinoso	Fosa infraespinosa de la escápula	Tuberosidad mayor del húmero	Rotación lateral del hombro	Nervio supraescapular (C_5-C_6)
Subescapular	Fosa subescapular de la escápula	Tuberosidad menor del húmero	Rotación medial del hombro	Nervio subescapular (C_5-C_6)
Redondo mayor	Ángulo inferior de la escápula	Labio medial del surco intertubercular del húmero	Extensión y rotación medial del hombro	Nervio subescapular inferior (C_5-C_6)
Redondo menor	Borde lateral de la escápula	Tubérculo mayor del húmero	Rotación lateral y aducción del hombro	Nervio axilar (C_5)
Tríceps braquial (porción larga)	*Véase la tabla 11.3*		Extensión del codo	
Bíceps braquial	*Véase la tabla 11.3*		Flexión del codo	
Dorsal ancho	Apófisis espinosas de las vértebras torácicas inferiores y de todas las lumbares, costillas 8-12 y fascia toracolumbar	Suelo del surco intertubercular del húmero	Extensión, aducción y rotación medial del hombro	Nervio toracodorsal (C_6-C_8)
Pectoral mayor	Cartílagos de las costillas 2-6, cuerpo del esternón y porción inferior y medial de la clavícula	Cresta del tubérculo mayor y labio lateral del surco intertubercular del húmero	Flexión, aducción y rotación medial del hombro	Nervios pectorales (C_5-T_1)



(a) Vista anterior

(b) Vista posterior

(c) Orígenes e inserciones

Figura 11.6 Músculos que mueven el brazo

(a) Vista anterior. **(b)** Vista posterior. **(c)** Vistas anterior y posterior de la escápula, que ofrecen determinados orígenes e inserciones. *Véanse también figuras 7.4 a 7.6 y 8.11.*

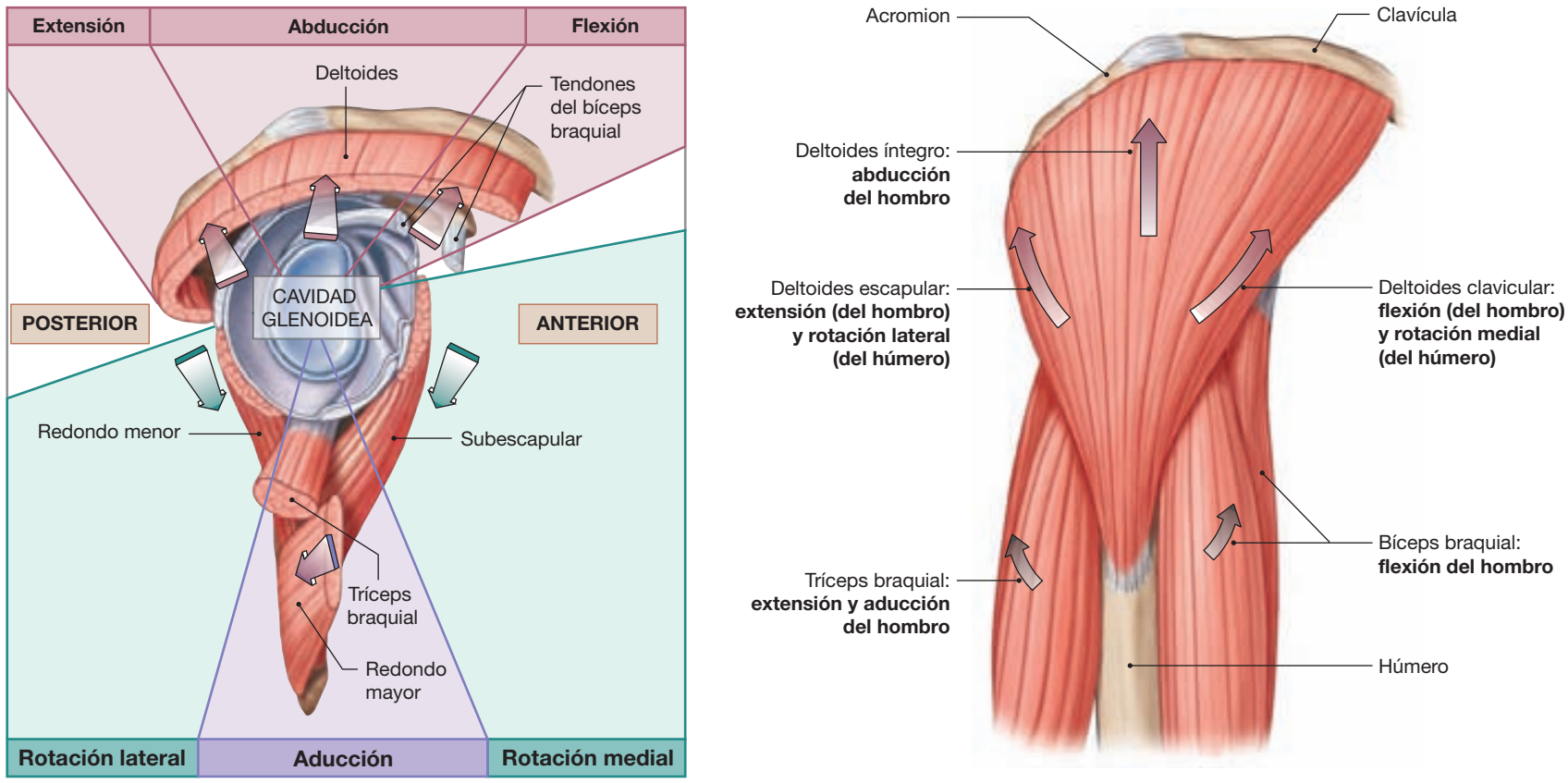


Figura 11.7 Líneas de acción para los músculos que mueven el brazo
(a) Vista lateral de la articulación del hombro, que presenta las líneas de acción seguidas por los músculos que mueven el brazo. **(b)** Líneas de acción de los músculos bíceps braquial, tríceps braquial y las tres porciones del músculo deltoides.

Nota clínica

Traumatismos deportivos Los traumatismos deportivos afectan por igual a los aficionados y a los profesionales. Un estudio de 5 años de duración que incluyó jugadores de fútbol americano universitario indicó que durante su carrera deportiva el 73,5% sufrían lesiones leves, el 21,5% lesiones moderadas y el 11,6% lesiones graves. Los deportes de contacto no son las únicas actividades con una frecuencia destacada de traumatismos: un estudio realizado a 1.650 personas que corrían un mínimo de 43 km a la semana encontró 1.819 lesiones en un solo año.

Los músculos y los huesos responden a su uso más frecuente con un aumento de tamaño y un proceso de fortalecimiento. Por tanto, las personas desentrenadas tienen mayor riesgo de someter estas estructuras a unos esfuerzos intolerables que las que estén en forma. El entrenamiento también es importante para reducir al mínimo el empleo de los grupos musculares antagonistas y mantener los movimientos articulares dentro de los límites de amplitud deseados. Los ejercicios de calentamiento programados antes de un acontecimiento deportivo estimulan la circulación, mejoran el rendimiento y el control muscular, y contribuyen a evitar lesiones en músculos, articulaciones y ligamentos. Los ejercicios de estiramiento efectuados tras un primer calentamiento potenciarán el flujo sanguíneo dirigido a los músculos y servirán para conservar los ligamentos y las cápsulas articulares flexibles. Todos estos medios de preparación amplían el recorrido de los movimientos y pueden prevenir los esguinces y las distensiones cuando se aplique una carga repentina.

Asimismo, la planificación de la alimentación puede tener su relevancia para evitar las lesiones musculares durante las actividades de resistencia, como las carreras de maratón. Habitualmente se ha hecho hincapié en la trascendencia de los carbohidratos, lo que ha dado lugar a la costumbre de administrar una «sobrecarga glucídica» antes de empezar. Pero mientras se trabaje dentro de los límites aerobios, los músculos también utilizan grandes cantidades de aminoácidos, por lo que una dieta satisfactoria debe llevar carbohidratos y proteínas.

La mejora en las condiciones de su práctica, en el equipamiento y en los reglamentos son otros factores que influyen en el descenso registrado en la incidencia de los traumatismos deportivos. Las zapatillas para correr, las tobilleras y rodilleras, los cascos, los protectores dentales y los materiales de relleno corporales son ejemplos de instrumentos que pueden resultar eficaces. Los castigos ejemplares con los que están penados en la actualidad los comportamientos personales antirreglamentarios en los deportes de contacto han reducido el número de lesiones en el cuello y en la rodilla.

Varias de las alteraciones traumáticas más frecuentes que se dan entre los que siguen deportes intensos también pueden afectar al resto de las personas, aunque con unas causas primordiales muy diferentes. La siguiente no es más que una enumeración parcial de los trastornos relacionados con estas actividades:

- **Contusión ósea:** hemorragia en el interior del periostio de un hueso.
- **Bursitis:** inflamación de las bolsas en las articulaciones.
- **Calambres musculares:** contracciones prolongadas, involuntarias y dolorosas de los músculos.
- **Distensiones:** desgarros en los músculos.
- **Esguinces:** desgarros o roturas de los ligamentos o los tendones.
- **Fracturas por sobrecarga:** fisuras o roturas de los huesos sometidos a esfuerzos o traumatismos repetidos.
- **Tendinitis:** inflamación del tejido conjuntivo que rodea a un tendón.

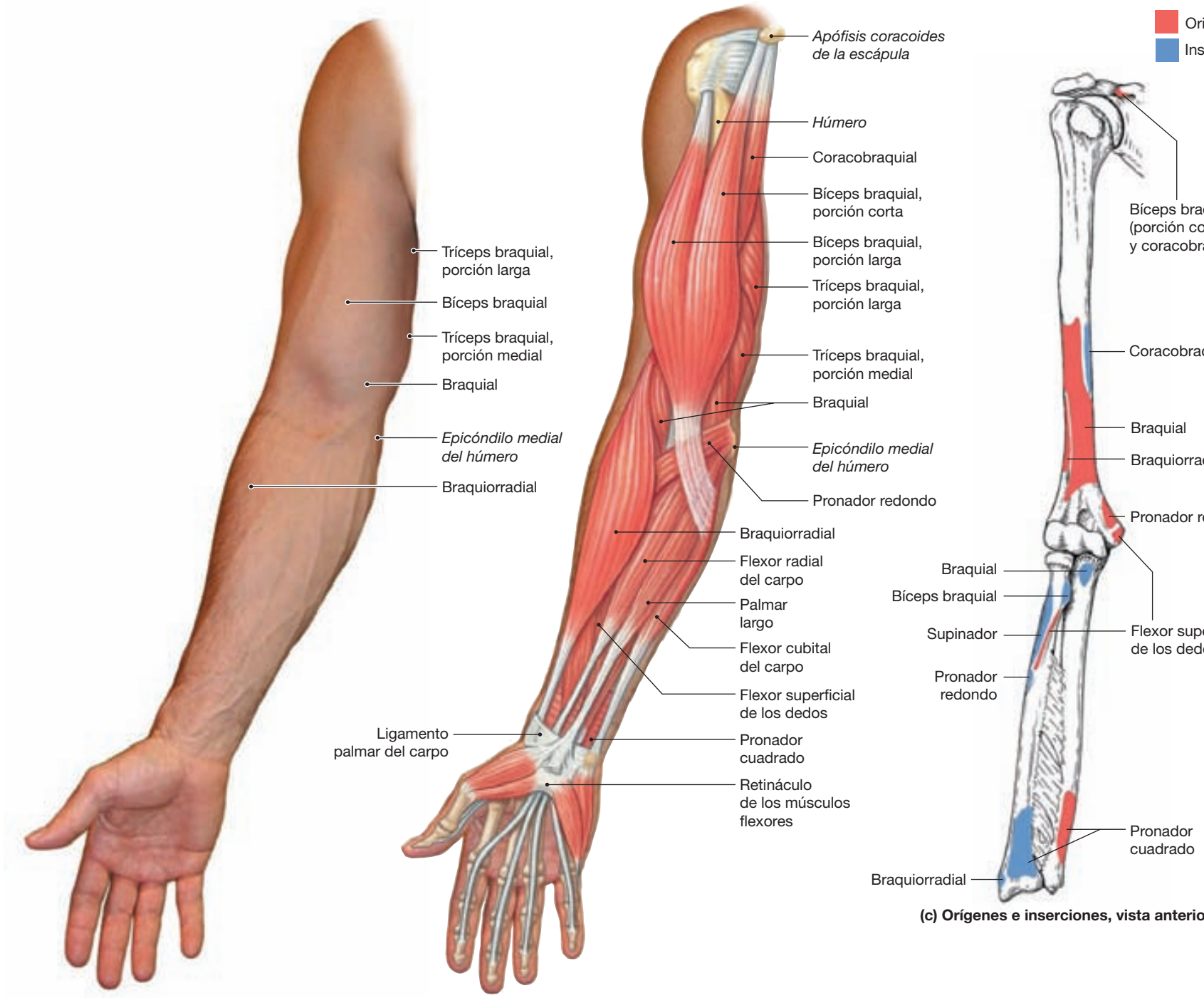
Por último, muchos traumatismos deportivos se evitarían si las personas que practican ejercicio con regularidad utilizara el sentido común y admitieran sus limitaciones personales. Puede afirmarse claramente que ciertos espectáculos deportivos, como el ultramaratón, provocan una sobrecarga tan excesiva sobre el sistema muscular y sobre los aparatos cardiovascular, respiratorio y urinario, que no son nunca recomendables, ni siquiera para un deportista en el mejor estado de forma.

Músculos que mueven el antebrazo y la mano [v. figuras 11.5/11.6/11.8/11.9 y tabla 11.3]

La mayor parte de los músculos que mueven el antebrazo y la mano se originan en el húmero y se insertan en el antebrazo y en la muñeca. Sin embargo, existen dos notables excepciones: la *porción larga* del **músculo tríceps braquial** se origina en la escápula y se inserta en el olécranon; la *porción larga* del **músculo bíceps braquial** se origina en la escápula y se inserta en la tuberosidad del radio (v. figuras 11.5, 11.6, 11.8 y 11.9). Aunque la contracción de cualquiera de estos dos últimos ejerce un efecto sobre el hombro, su acción fundamental afecta a la articulación del codo. El músculo tríceps braquial lo extiende, por ejemplo, al hacer flexiones. El músculo bíceps braquial flexiona el codo y supina el antebrazo. Con el antebrazo en pronación, no puede actuar de manera eficaz debido a la posición que ocupa su inserción muscular. Por esta razón, somos más fuertes cuando flexionamos el codo con el antebrazo en supinación; en esas circunstancias, el músculo bíceps braquial crea un abultado relieve. Los músculos que mueven el antebrazo y la mano se detallan en la tabla 11.3 con sus inervaciones correspondientes.

TABLA 11.3 Músculos que mueven el antebrazo y la mano

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
ACCIÓN SOBRE EL CODO				
FLEXORES				
Bíceps braquial	*Porción corta:* apófisis coracoides; *porción larga:* tubérculo supraglenoideo (ambos en la escápula)	Tuberosidad del radio	Flexión del codo y del hombro; supinación	Nervio musculocutáneo (C_5-C_6)
Braquial	Porción distal de la cara anterior del húmero	Tuberosidad del cúbito	Flexión del codo	Igual más nervio radial (C_7-C_8)
Braquiorradial	Cresta por encima del epicóndilo lateral del húmero	Cara lateral de la apófisis estiloides del radio	Igual que arriba	Nervio radial (C_6-C_8)
EXTENSORES				
Ancóneo	Cara posterior de la porción lateral del húmero	Borde lateral del olécranon y cuerpo del cúbito	Extensión del codo	Nervio radial (C_6-C_8)
Tríceps braquial				
porción lateral	Parte superior del borde lateral del húmero	Olécranon del cúbito	Extensión del codo	Nervio radial (C_6-C_8)
porción larga	Tubérculo infraglenoideo de la escápula	Igual que arriba	Igual que arriba más extensión y aducción del hombro	Igual que arriba
porción medial	Cara posterior del húmero, por debajo del surco para el nervio radial	Igual que arriba	Extensión del codo	Igual que arriba
PRONADORES/SUPINADORES				
Pronador cuadrado	Caras anterior y medial de la porción distal del cúbito	Cara anterolateral de la porción distal del radio	Pronación del antebrazo y de la mano por rotación medial del radio en las articulaciones radiocubitales	Nervio mediano (C_8-T_1)
Pronador redondo	Epicóndilo medial del húmero y apófisis coronoides del cúbito	Centro de la cara lateral del radio	Igual que arriba, más flexión del codo	Nervio mediano (C_6-C_7)
Supinador	Epicóndilo lateral del húmero y cresta cerca de la escotadura radial del cúbito	Cara anterolateral del radio en la porción distal a la tuberosidad del radio	Supinación del antebrazo y de la mano por rotación lateral del radio en las articulaciones radiocubitales	Rama profunda del nervio radial (C_6-C_8)
ACCIÓN SOBRE LA MUÑECA				
FLEXORES				
Flexor radial del carpo	Epicóndilo medial del húmero	Base del segundo y el tercer metacarpianos	Flexión y abducción de la muñeca	Nervio mediano (C_6-C_7)
Flexor cubital del carpo	Epicóndilo medial del húmero; cara medial adyacente del olécranon y porción anteromedial del cúbito	Pisiforme, ganchoso y base del quinto metacarpiano	Flexión y aducción de la muñeca	Nervio cubital (C_8-T_1)
Palmar largo	Epicóndilo medial del húmero	Aponeurosis palmar y retináculo de los músculos flexores	Flexión de la muñeca	Nervio mediano (C_6-C_7)
EXTENSORES				
Extensor radial largo del carpo	Cresta supracondílea lateral del húmero	Base del segundo metacarpiano	Extensión y abducción de la muñeca	Nervio radial (C_6-C_7)
Extensor radial corto del carpo	Epicóndilo lateral del húmero	Base del tercer metacarpiano	Igual que arriba	Igual que arriba
Extensor cubital del carpo	Epicóndilo lateral del húmero; cara dorsal adyacente del cúbito	Base del quinto metacarpiano	Extensión y aducción de la muñeca	Ramo profundo del nervio radial (C_6-C_8)



(a) Anatomía de superficie, vista anterior

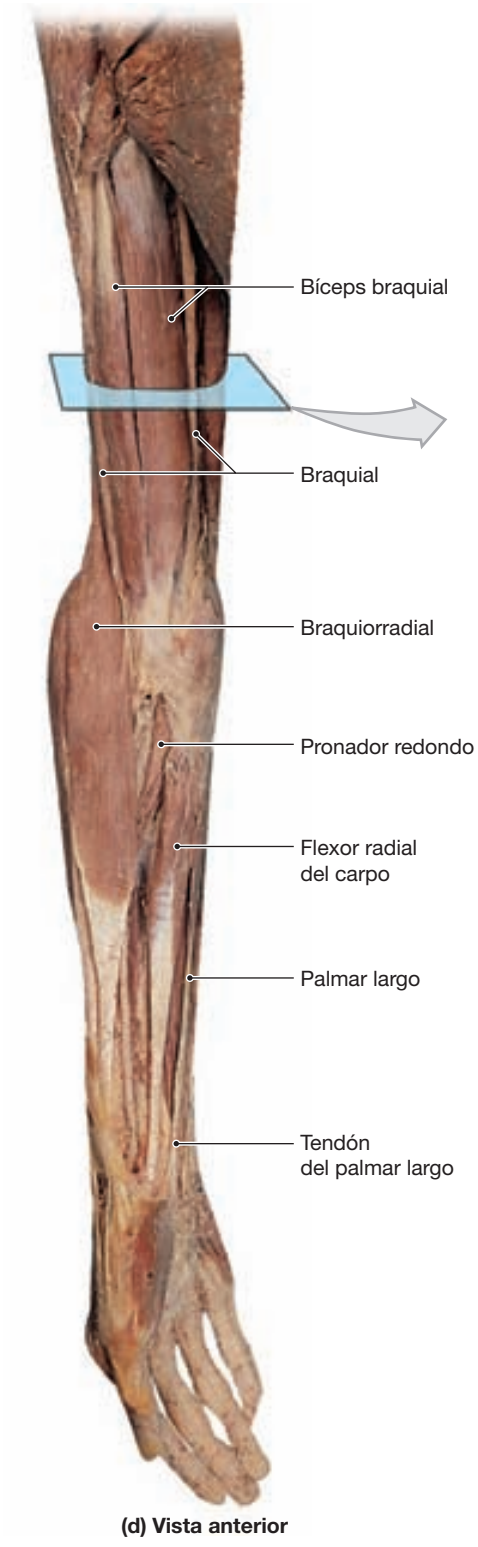
(b) Músculos superficiales, vista anterior

(c) Orígenes e inserciones, vista anterior

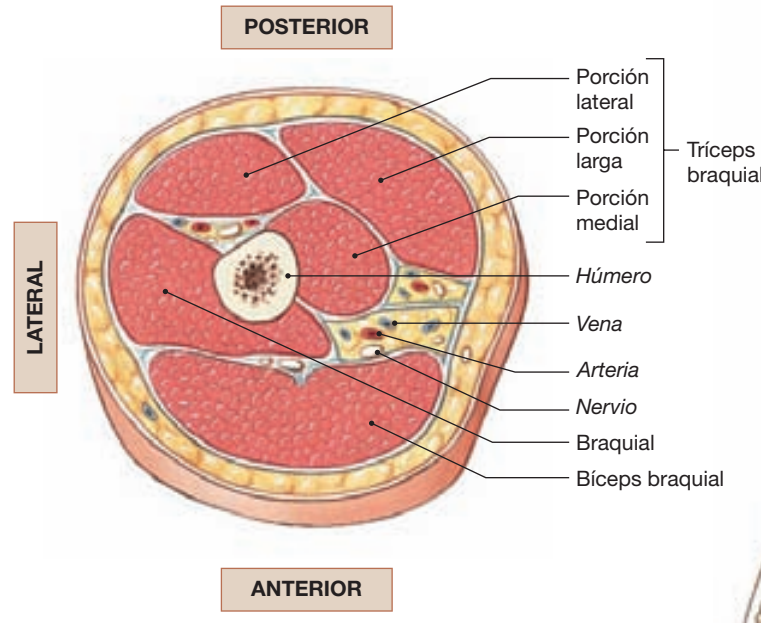
Figura 11.8 Músculos que mueven el antebrazo y la mano, parte I
Se ofrecen las relaciones entre los músculos de la extremidad superior derecha. **(a)** Anatomía de superficie de la extremidad superior derecha, vista anterior. **(b)** Músculos superficiales de la extremidad superior derecha, vista anterior. **(c)** Vista anterior de los huesos de la extremidad superior derecha, que muestra determinados orígenes e inserciones musculares.

Los **músculos braquial** y **braquiorradial** también flexionan el codo; a su acción se oponen los músculos **ancóneo** y tríceps braquial. El **flexor cubital del carpo,** el **flexor radial del carpo** y el **palmar largo** son músculos superficiales que actúan de forma conjunta para producir la flexión de la muñeca (**v. figuras 11.8b-e** y **11.9b-e**). Debido a las diferencias que presentan en su lugar de origen y de inserción, el músculo flexor radial del carpo provoca una flexión más abducción, mientras que el músculo flexor cubital del carpo la realiza con aducción de la muñeca. El **músculo extensor radial del carpo** y el **músculo extensor cubital del carpo** guardan una relación similar; el primero produce la extensión con abducción de la muñeca, y el segundo la hace con su aducción.

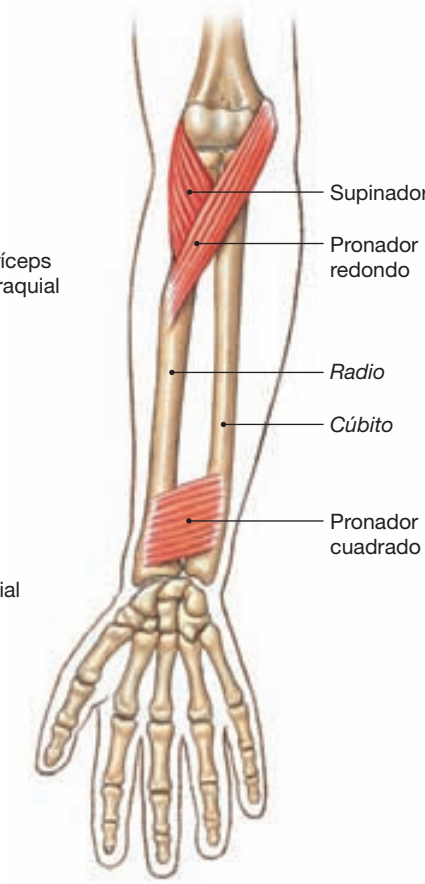
El **músculo pronador redondo** y el **músculo supinador** son dos antagonistas que se originan en el húmero y en el cúbito. Su inserción está en el radio y provocan la rotación sin flexión ni extensión del codo. El **músculo pronador cuadrado** se origina en el cúbito y colabora con el pronador redondo en su oposición a las acciones del músculo supinador o del bíceps braquial. En las **figuras 11.8f** y **11.9f** pueden observarse los músculos que participan en la pronación y en la supinación. Fíjese en los cambios de orientación acaecidos al contraerse los músculos pronador redondo y pronador cuadrado. Durante la pronación, el tendón del músculo bíceps braquial se enrolla bajo el radio, y una bolsa evita la abrasión contra su superficie **[p. 208]**.



(d) Vista anterior



(e) Brazo, corte transversal



(f) Vista anterior del antebrazo, músculos profundos

Figura 11.8 ***(cont.)***
(d) Vista anterior de una disección de los músculos de la extremidad superior derecha. Los músculos palmar largo y flexores del carpo (radial y cubital) se han resecado en parte, y el retináculo de los músculos flexores se ha seccionado. **(e)** Las relaciones entre los músculos más profundos del brazo se observan mejor en la vista de un corte. Para consultar otras perspectivas en vistas de cortes, véanse *figuras 11.22 y 11.23.* **(f)** Vista anterior de los músculos profundos del antebrazo en supinación. *Véanse también figuras 7.6, 7.7 y 7.8.*

Al estudiar el contenido de la tabla 11.3, fíjese en que, por regla general, los músculos extensores ocupan las caras posterior y lateral del antebrazo, y los flexores las caras anterior y medial. Muchos de los músculos que mueven el antebrazo y la mano pueden observarse desde la superficie del cuerpo (**v. figuras 11.8a** y **11.9a**).

Músculos que mueven la mano y los dedos

Músculos extrínsecos de la mano [v. figuras 11.8 a 11.11 y tabla 11.4]

Varios músculos superficiales y profundos del antebrazo (v. tabla 11.4) realizan acciones de flexión y de extensión en las articulaciones de los dedos. Estos músculos, que ejercen un control elemental sobre la mano y sobre los dedos y la dotan de solidez, se denominan *músculos extrínsecos de la mano.* Sólo sus tendones llegan a cruzar la articulación de la muñeca. Se trata de unos músculos relativamente grandes (**v. figuras 11.8** a **11.10**) y al encontrarse apartados de las articulaciones, esto garantiza una movilidad máxima en la muñeca y en la mano. Los tendones que atraviesan las caras dorsal y ventral de la muñeca pasan dentro de las **vainas tendinosas sinoviales,** unas bolsas alargadas que reducen el rozamiento. En las **figuras 11.8b,d** y **11.11d,g** se ofrecen estos músculos y sus tendones vistos en una vista anterior, y en las **figuras 11.9b,d, 11.10d-f** y **11.11a,e** aparecen en una vista posterior. La fascia del antebrazo se espesa en la cara posterior de la muñeca para formar una banda ancha de tejido conjuntivo, el **retináculo de los músculos extensores** (**v. figura 11.11a**). Este retináculo mantiene los tendones

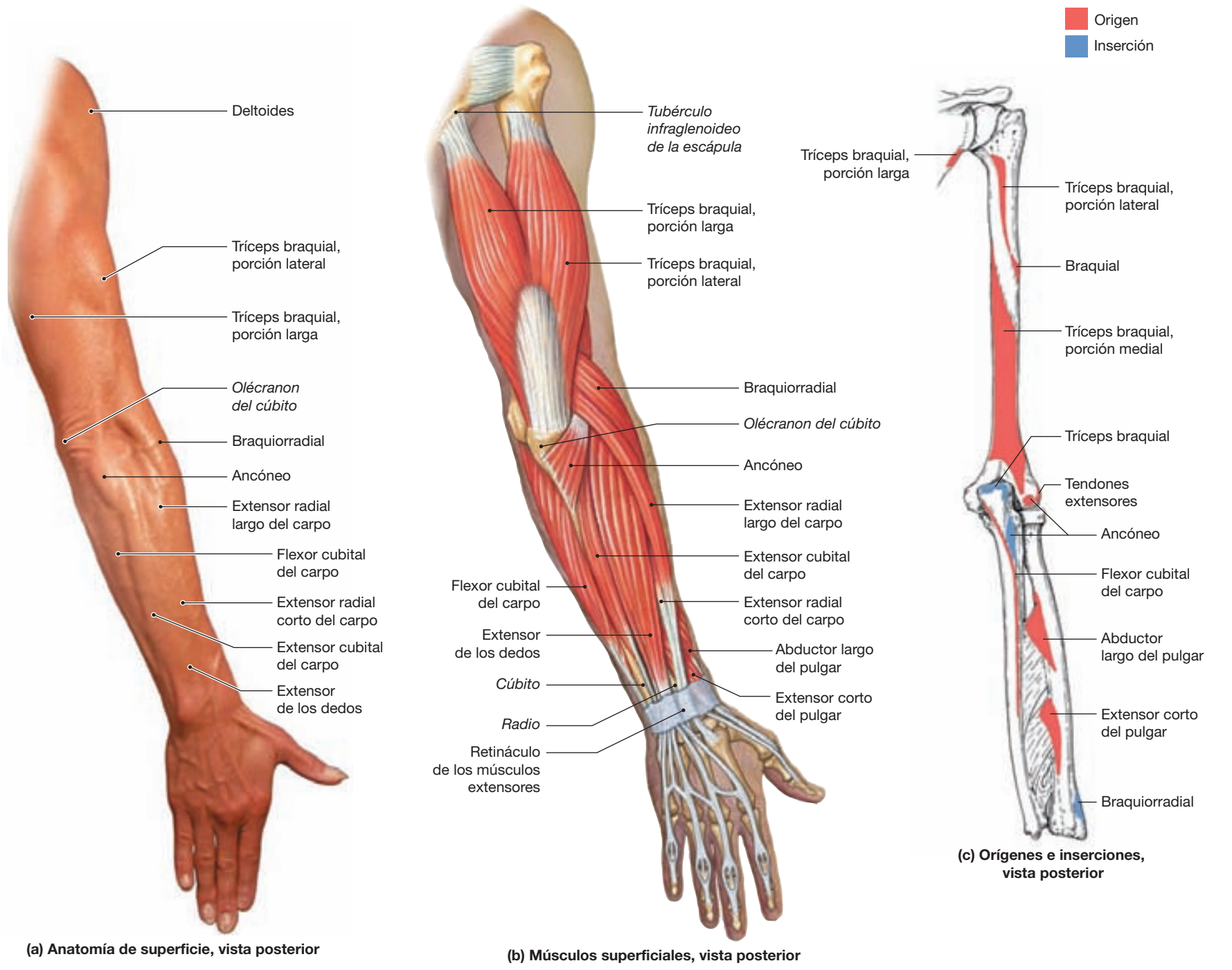


Figura 11.9 Músculos que mueven el antebrazo y la mano, parte II

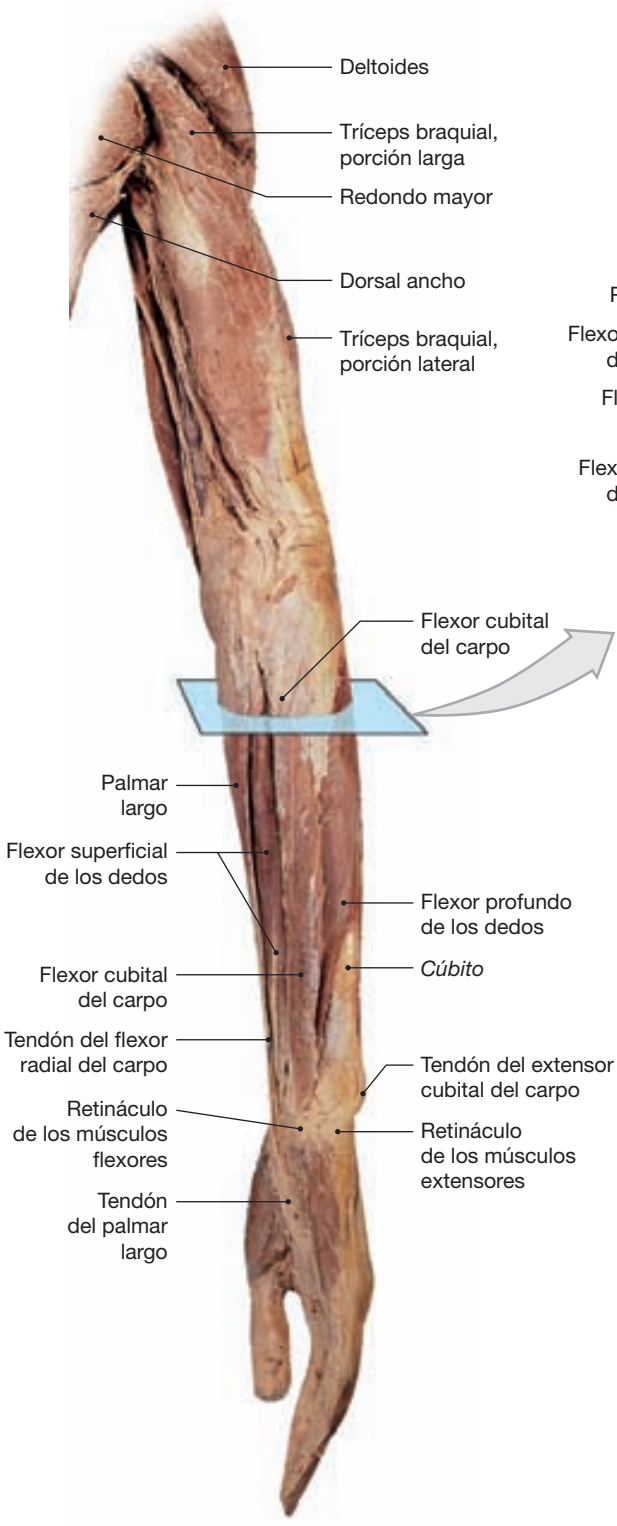
Se ofrecen las relaciones entre los músculos de la extremidad superior derecha. **(a)** Anatomía de superficie de la extremidad superior derecha, vista posterior. **(b)** Vista esquemática de una disección de los músculos superficiales. **(c)** Vista posterior de los huesos de la extremidad superior, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. **(d)** Vista posterior de una disección superficial del antebrazo. **(e)** Las relaciones entre los músculos más profundos se observan mejor en esta vista de un corte. Los extensores y los flexores profundos de los dedos se ofrecen en la *figura 11.10;* pueden consultarse otras vistas de cortes en las *figuras 11.22 y 11.23.* **(f)** Músculos profundos que participan en la pronación y la supinación. *Véase también figura 7.7.*

de los músculos extensores en su sitio. Sobre la cara anterior, la fascia también aumenta de grosor para constituir otra banda ancha de tejido conjuntivo, el **retináculo de los músculos flexores,** que sirve para sujetar los tendones de los músculos flexores (**v. figura 11.11d,f**). La inflamación de los retináculos y las vainas tendinosas puede producir una restricción de movimientos e irritar el *nervio mediano,* un nervio sensitivo y motor que se encarga de la mano. Este proceso, denominado *síndrome del túnel carpiano,* genera un dolor crónico.

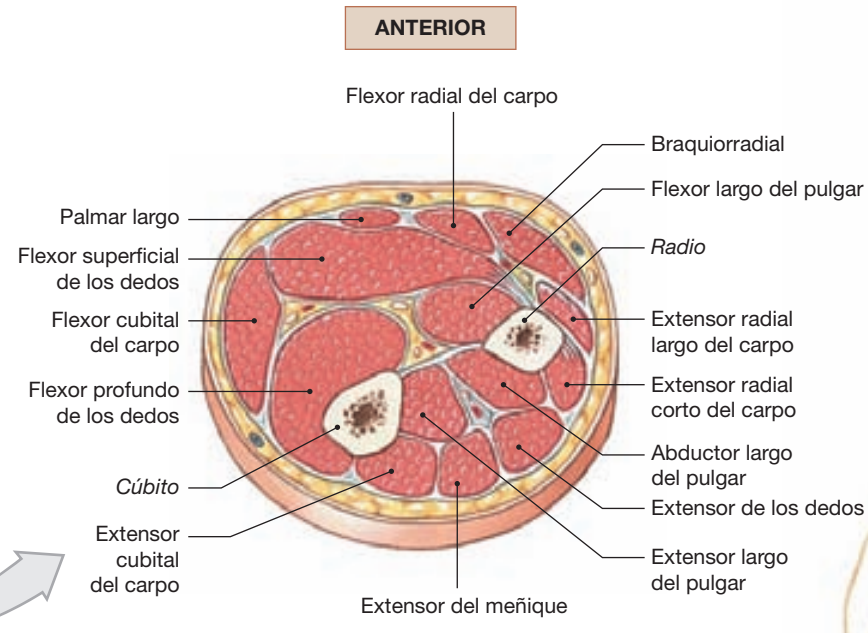
Músculos intrínsecos de la mano [v. figura 11.11 y tabla 11.5]

El control fino ejercido sobre la mano cuenta con los pequeños *músculos intrínsecos de la mano* que se originan en los huesos del carpo y el metacarpo (**v. figura 11.11**). Con su acción, son los responsables de ejecutar las siguientes funciones: 1) flexión y extensión de los dedos en las articulaciones metacarpofalángicas; 2) abducción y aducción de los dedos en las articulaciones metacarpofalángicas, y 3) oposición y reposición del pulgar. Ningún músculo toma su origen en las falanges, y a las articulaciones distales de los dedos no llegan nada más que tendones. Los músculos intrínsecos de la mano se detallan en la tabla 11.5.

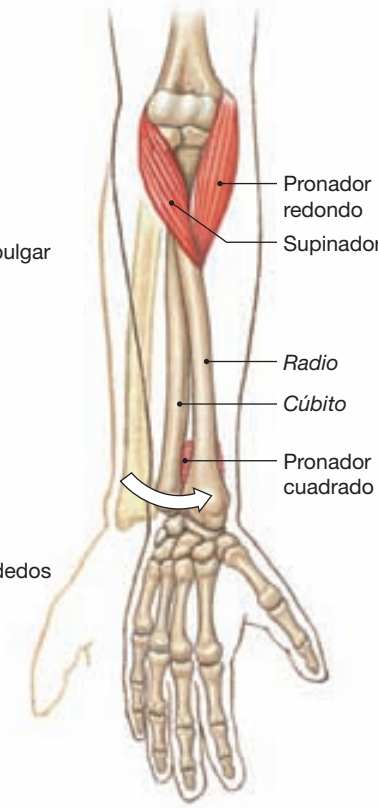
Los cuatro **músculos lumbricales** se originan en la palma de la mano sobre los tendones del músculo flexor profundo de los dedos. Se insertan sobre los tendones del músculo extensor de los dedos. Estos músculos producen la flexión en las articulaciones metacarpofalángicas, y la extensión en las articulaciones interfalángicas de los dedos.



(d) Músculos superficiales, vista posterior



(e) Antebrazo, corte transversal



(f) Pronación

Figura 11.9 ***(cont.)***

La abducción de los dedos se lleva a cabo mediante los cuatro **músculos interóseos dorsales.** El **músculo abductor del meñique** efectúa la abducción del quinto dedo, y el **músculo abductor corto del pulgar** la del primer dedo. El **músculo aductor del pulgar** se encarga de la aducción de este dedo, y los cuatro **músculos interóseos palmares** realizan la aducción de los dedos en las articulaciones metacarpofalángicas.

La oposición del pulgar es el movimiento en el que el pulgar, partiendo de la posición anatómica, realiza una flexión con rotación medial en la articulación carpometacarpiana. Este movimiento pone la yema del pulgar en contacto con la de cualquier otro dedo. Dicha acción la realiza el **músculo oponente del pulgar.** Su reposición la ejecutan dos músculos extrínsecos de la mano, el músculo extensor largo del pulgar y el músculo abductor largo del pulgar (v. tabla 11.4).

Nota clínica

Síndrome del túnel carpiano En el **síndrome del túnel carpiano,** la inflamación de la vaina que rodea a los tendones flexores de la palma de la mano da lugar a la compresión del *nervio mediano,* un nervio mixto (sensitivo y motor) que se encarga de esta región y de las caras palmares de los dedos pulgar, índice y medio. Sus síntomas consisten en la aparición de dolor, sobre todo al flexionar la muñeca, una sensación de hormigueo o entumecimiento de la palma, y debilidad en el abductor corto del pulgar. Este trastorno es bastante frecuente y suele afectar a las personas obligadas a efectuar movimientos de la mano que ejercen una tensión repetida sobre los tendones que cruzan la muñeca. Entre las actividades asociadas habitualmente a este síndrome figura escribir en el teclado de un ordenador, tocar el piano o, como en el caso de los carpinteros, el uso reiterado del martillo. Su tratamiento consiste en la administración de antiinflamatorios, como el ácido acetilsalicílico, y el empleo de una férula para impedir el movimiento de la muñeca y estabilizar la región. Ya hay varios teclados de ordenador provistos de un diseño especial para reducir las sobrecargas ligadas a la escritura.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué dos movimientos quedarían alterados por la lesión del músculo flexor cubital del carpo?
2. Identifique los músculos que rotan el radio sin flexionar ni extender el codo.
3. ¿Qué estructura atraviesan los tendones que cruzan las caras dorsal y ventral de la muñeca antes de llegar a su punto de inserción?
4. Reseñe la fascia gruesa que forma una banda ancha de tejido conjuntivo sobre la cara posterior de la muñeca.

Véase «Respuestas» al final del libro.

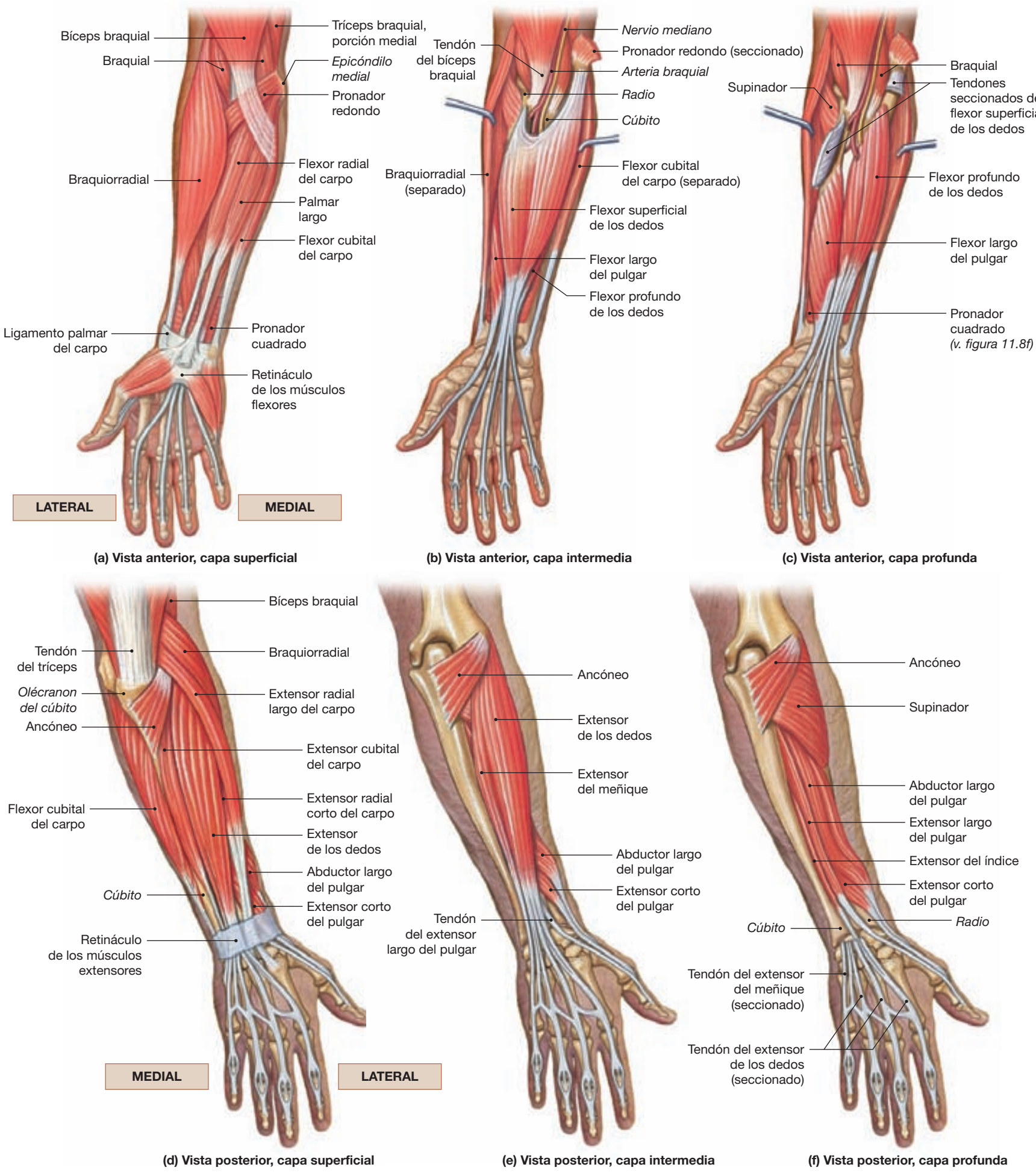


Figura 11.10 **Músculos extrínsecos que mueven la mano y los dedos**
(a) Vista anterior, que muestra los músculos superficiales del antebrazo derecho. **(b)** Vista anterior de la capa muscular intermedia. Se han eliminado el músculo flexor radial del carpo y el músculo palmar largo. **(c)** Vista anterior de la capa muscular profunda. **(d)** Vista posterior, que muestra los músculos superficiales del antebrazo derecho. **(e)** Vista posterior de la capa muscular intermedia. **(f)** Vista posterior de la capa muscular profunda. *Véanse también figuras 7.7, 7.8 y 11.9.*

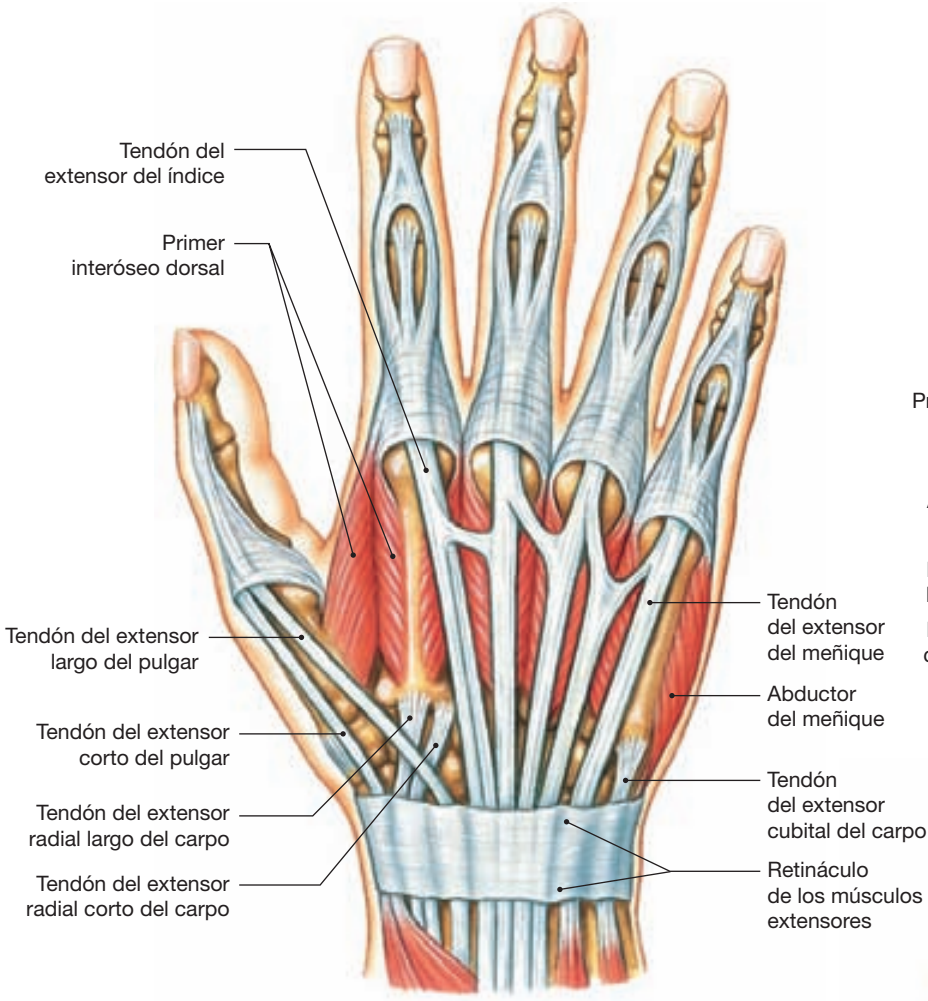
TABLA 11.4 Músculos que mueven la mano y los dedos

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Abductor largo del pulgar	Porción proximal de la cara dorsal del cúbito y el radio	Borde lateral del primer metacarpiano	Abducción de las articulaciones del pulgar y de la muñeca	Rama profunda del nervio radial (C_6-C_7)
Extensor de los dedos	Epicóndilo lateral del húmero	Cara posterior de las falanges: dedos 2-5	Extensión de las articulaciones de los dedos y de la muñeca	Rama profunda del nervio radial (C_6-C_8)
Extensor corto del pulgar	Diáfisis del radio en la porción distal al origen del abductor largo del pulgar y membrana interósea	Base de la falange proximal del pulgar	Extensión de las articulaciones del pulgar; abducción de la muñeca	Rama profunda del nervio radial (C_6-C_7)
Extensor largo del pulgar	Caras posterior y lateral del cúbito y membrana interósea	Base de la falange distal del pulgar	Igual que arriba	Rama profunda del nervio radial (C_6-C_8)
Extensor del índice	Cara posterior del cúbito y membrana interósea	Cara posterior de la falange proximal del índice (2), con el tendón del extensor de los dedos	Extensión y aducción de las articulaciones del índice	Igual que arriba
Extensor del meñique	Epicóndilo lateral del húmero a través del tendón de los extensores y tabiques intermusculares	Cara posterior de la falange proximal del meñique	Extensión de las articulaciones del meñique; extensión de la muñeca	Igual que arriba
Flexor superficial de los dedos	Epicóndilo medial del húmero; cara anterior adyacente del cúbito y el radio	Base de las falanges medias de los dedos 2-5	Flexión de las articulaciones interfalángica proximal, metacarpofalángica y de la muñeca	Nervio mediano (C_7-T_1)
Flexor profundo de los dedos	Caras medial y posterior del cúbito, cara medial de la apófisis coronoides y membrana interósea	Base de las falanges distales de los dedos 2-5	Flexión de las articulaciones interfalángicas distales y, en menor medida, de las articulaciones interfalángicas proximales y de la muñeca	Rama interósea anterior del nervio mediano y nervio cubital (C_8-T_1)
Flexor largo del pulgar	Porción anterior de la diáfisis del radio y membrana interósea	Base de la falange distal del pulgar	Flexión de las articulaciones del pulgar	Nervio mediano (C_8-T_1)

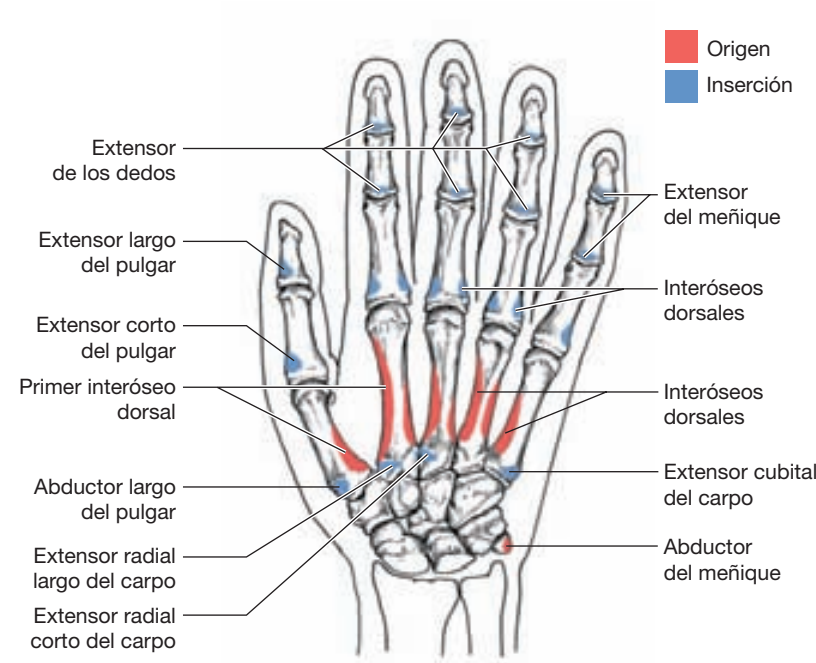
TABLA 11.5 Músculos insíntrecos de la mano

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Aductor del pulgar	Huesos del carpo y metacarpianos	Falange proximal del pulgar	Aducción del pulgar	Rama profunda del nervio cubital (C_8-T_1)
Oponente del pulgar	Trapecio y retináculo de los músculos flexores	Primer metacarpiano	Oposición del pulgar	Nervio mediano (C_6-C_7)
Palmar corto	Aponeurosis palmar	Piel del borde medial de la mano	Movimiento de la piel del borde medial hacia la línea media de la palma de la mano	Rama superficial del nervio cubital (C_8)
Abductor del meñique	Pisiforme	Falange proximal del meñique	Abducción del meñique y flexión de su articulación metacarpofalángica	Rama profunda del nervio cubital (C_8-T_1)
Abductor corto del pulgar	Ligamento transverso del carpo, escafoides y trapecio	Lado radial de la base de la falange proximal del pulgar	Abducción del pulgar	Nervio mediano (C_6-C_7)
Flexor corto del pulgar*	Retináculo de los músculos flexores, trapecio, grande y lado cubital del primer metacarpiano	Lados radial y cubital de la falange proximal del pulgar	Flexión y aducción del pulgar	Ramas de los nervios mediano y cubital
Flexor corto del meñique	Ganchoso	Falange proximal del meñique	Flexión de la quinta articulación metacarpofalángica	Rama profunda del nervio cubital (C_8-T_1)
Oponente del meñique	Igual que arriba	Quinto metacarpiano	Flexión de la articulación metacarpofalángica; lleva el dedo a su oposición con el pulgar	Igual que arriba
Lumbrical (4)	Los cuatro tendones del flexor profundo de los dedos	Tendones del extensor de los dedos para los dedos 2-5	Flexión de las articulaciones metacarpofalángicas; extensión de las articulaciones interfalángicas proximal y distal	1 y 2: nervio mediano; 3 y 4: rama profunda del nervio cubital
Interóseo dorsal (4)	Caras enfrentadas de dos metacarpianos (I y II, II y III, III y IV, IV y V)	Base de las falanges proximales de los dedos 2-4	Abducción de las articulaciones metacarpofalángicas de los dedos 2-4, flexión de las articulaciones metacarpofalángicas; extensión de las articulaciones interfalángicas	Rama profunda del nervio cubital (C_8-T_1)
Interóseo palmar (4)	Lados de los metacarpianos II, IV y V	Base de las falanges proximales de los dedos 2, 4 y 5	Aducción de las articulaciones metacarpofalángicas de los dedos 2, 4 y 5; flexión de las articulaciones metacarpofalángicas; extensión de las articulaciones interfalángicas	Igual que arriba

*La porción del flexor corto del pulgar que se origina en el primer metacarpiano a veces recibe el nombre de *músculo primer interóseo palmar,* que se inserta en el lado cubital de la falange proximal y está inervado por el nervio cubital.

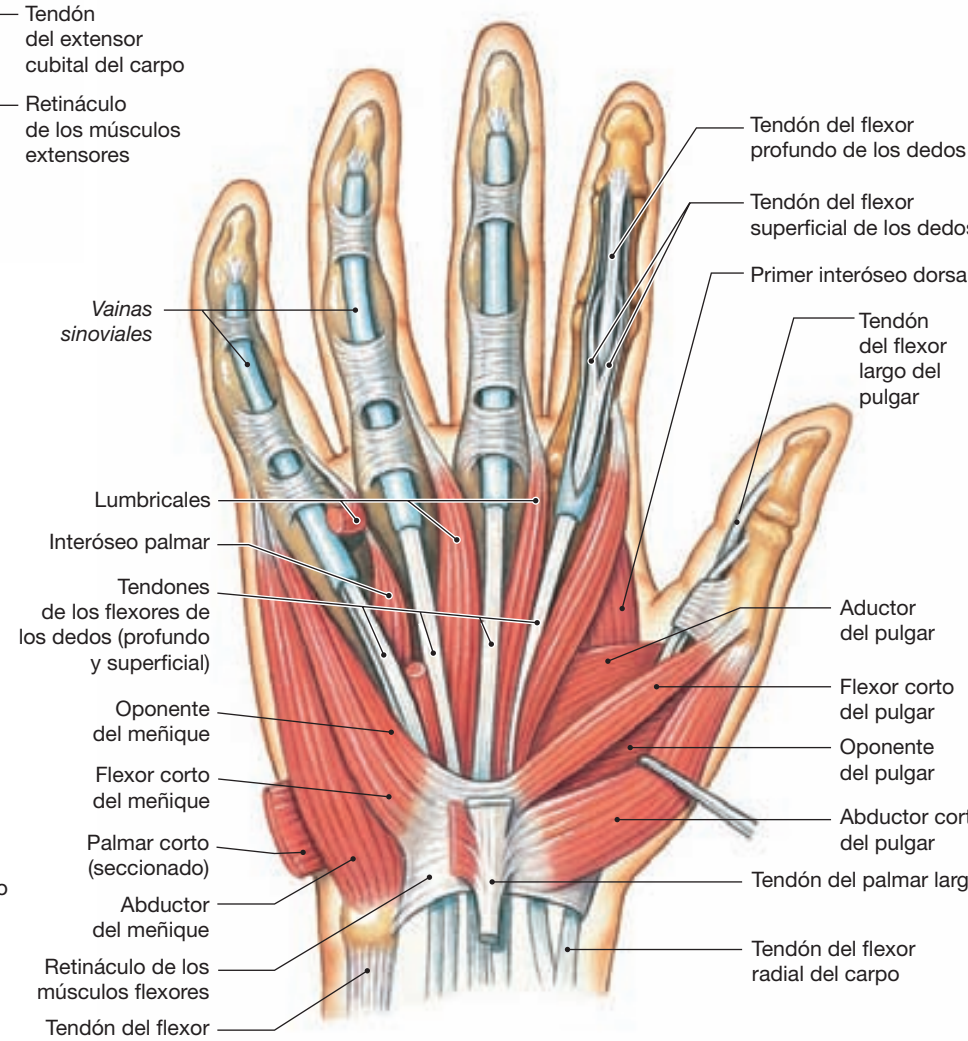

Tendón del extensor del índice
Primer interóseo dorsal
Tendón del extensor largo del pulgar
Tendón del extensor corto del pulgar
Tendón del extensor radial largo del carpo
Tendón del extensor radial corto del carpo
Tendón del extensor del meñique
Abductor del meñique
Tendón del extensor cubital del carpo
Retináculo de los músculos extensores

(a) Mano derecha, vista posterior (dorsal)



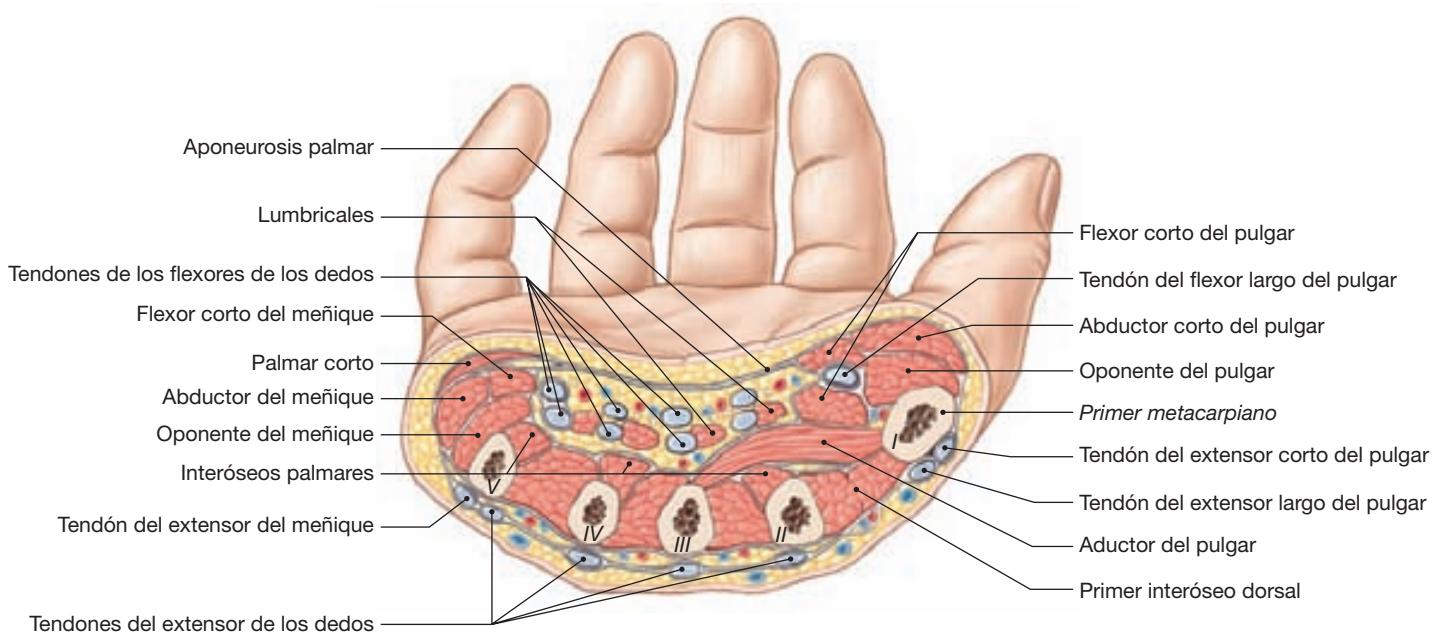
(b) Orígenes e inserciones, vista posterior (dorsal)

(c) Orígenes e inserciones, vista anterior (palmar)


Tendón del flexor profundo de los dedos
Tendón del flexor superficial de los dedos
Primer interóseo dorsal
Vainas sinoviales
Tendón del flexor largo del pulgar
Lumbricales
Interóseo palmar
Tendones de los flexores de los dedos (profundo y superficial)
Oponente del meñique
Flexor corto del meñique
Palmar corto (seccionado)
Abductor del meñique
Retináculo de los músculos flexores
Tendón del flexor cubital del carpo
Aductor del pulgar
Flexor corto del pulgar
Oponente del pulgar
Abductor corto del pulgar
Tendón del palmar largo
Tendón del flexor radial del carpo

(d) Mano derecha, vista anterior (palmar)

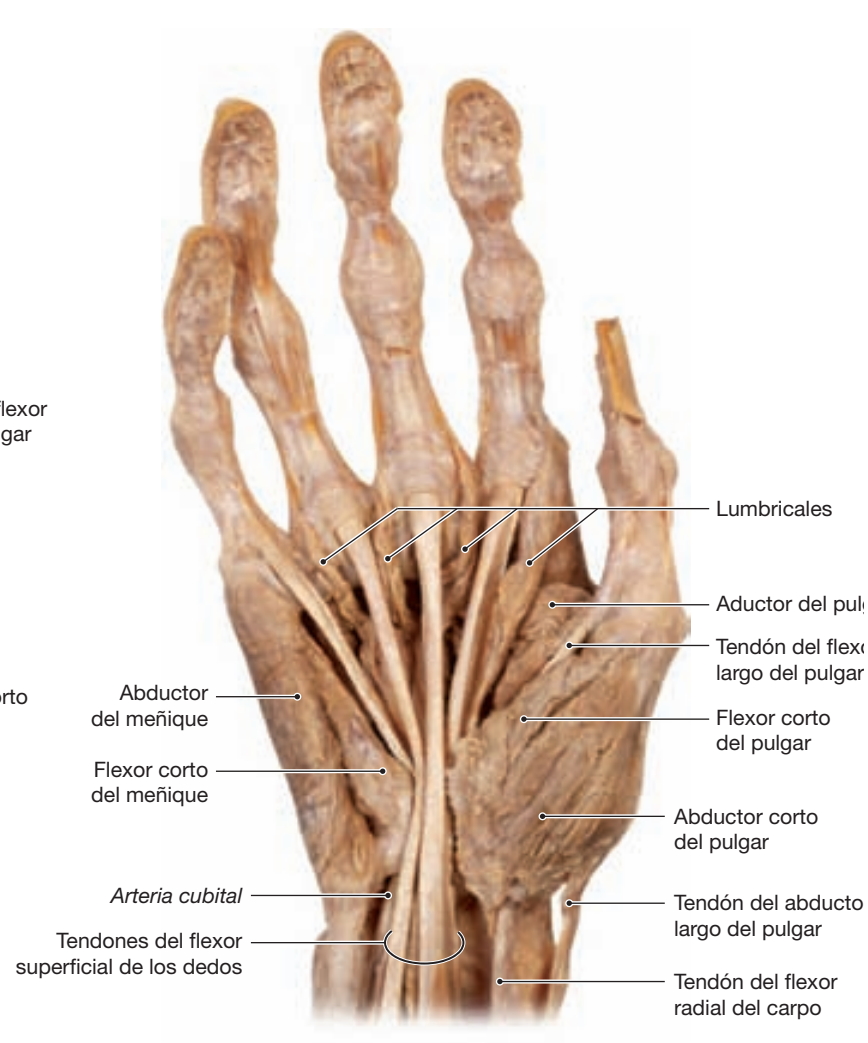
Figura 11.11 Músculos intrínsecos, tendones y ligamentos de la mano
Anatomía de la muñeca y de la mano derecha. **(a)** Vista posterior (dorsal). **(b)** Vista posterior de los huesos de la mano derecha, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. **(c)** Vista anterior de los huesos de la mano derecha, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. **(d)** Vista anterior (palmar). **(e)** Mano derecha, corte transversal a través de los huesos metacarpianos. **(f)** Vista anterior de una disección palmar superficial de la mano derecha. **(g)** Vista anterior de una disección palmar profunda de la mano derecha.



(e) Mano derecha: corte transversal a través de los huesos metacarpianos

Tendón del flexor profundo de los dedos
Tendón del flexor superficial de los dedos
Vainas fibrosas de los dedos
Lumbrical
Tendón del flexor largo del pulgar
Tendones de los flexores de los dedos
Arco palmar superficial
Flexor corto del pulgar
Abductor del meñique
Abductor corto del pulgar
Flexor corto del meñique
Palmar corto
Retináculo de los músculos flexores
Nervio cubital
Tendón del palmar largo
Tendón del flexor radial del carpo
Flexor superficial de los dedos
Arteria radial
Nervio mediano
Flexor cubital del carpo
Arteria cubital

(f) Mano derecha, vista anterior (palmar)



(g) Mano derecha, vista anterior (profunda)

Figura 11.11 ***(cont.)***

Músculos de la cintura pélvica y de las extremidades inferiores

La cintura pélvica se encuentra fuertemente ligada al esqueleto del tronco, y permite movimientos relativamente escasos. Los pocos músculos que pueden influir sobre la posición de la pelvis se estudiaron en el capítulo 10, con la explicación dedicada a la musculatura del tronco [p. 279]. Los músculos de las extremidades inferiores son más grandes y potentes que los de las extremidades superiores. Pueden dividirse en tres grupos: 1) *músculos que mueven el muslo;* 2) *músculos que mueven la pierna,* y 3) *músculos que mueven el pie y los dedos.*

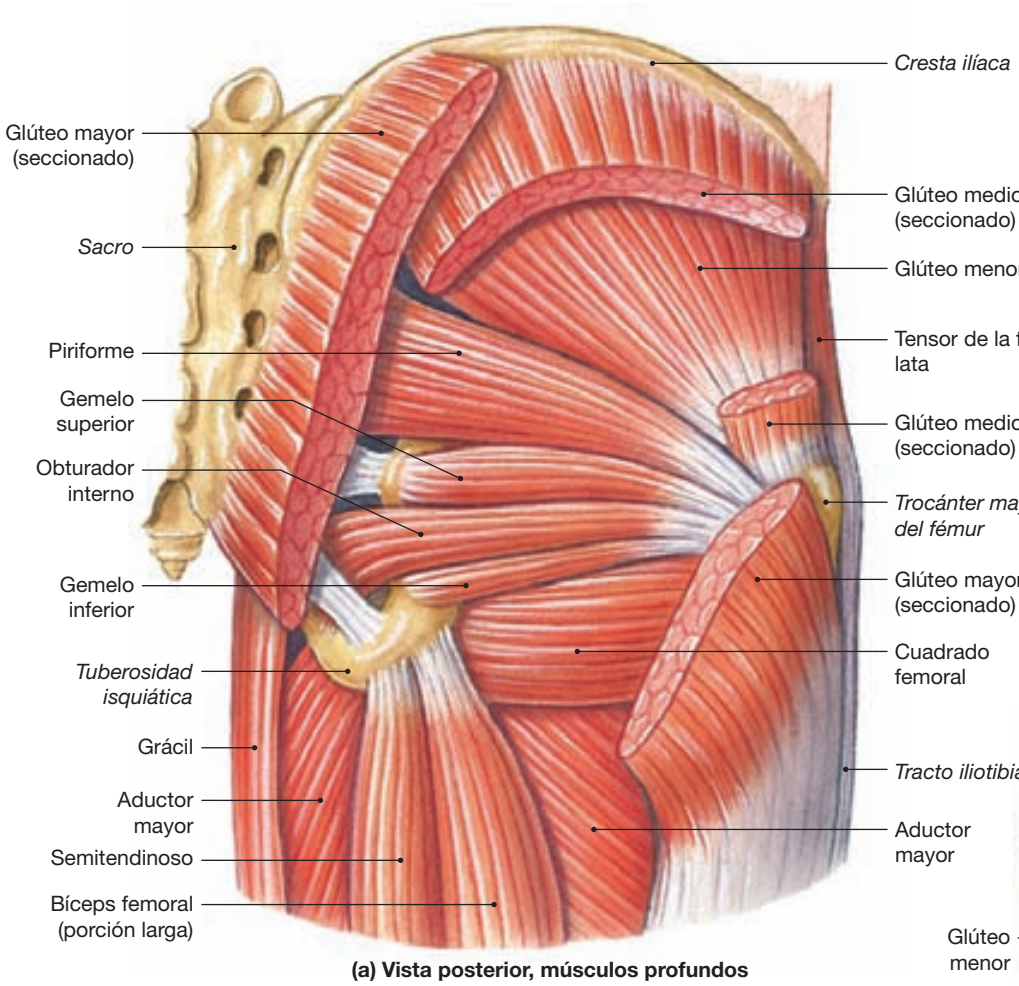
Músculos que mueven el muslo

[v. figuras 11.2/11.5/11.12 a 11.14 y tabla 11.6]

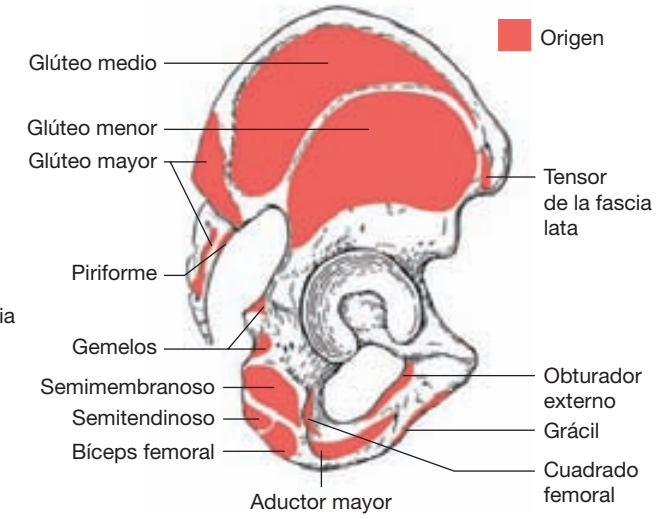
Los músculos que mueven el muslo se originan en la pelvis, y muchos de ellos son grandes y potentes. En total, se les reúne en los cuatro grupos siguientes: a) glúteo; b) rotador lateral; c) aductor, y d) iliopsoas. Los **músculos glúteos** cubren la cara lateral del ilion (v. figuras 11.2, 11.5 y 11.12). El **músculo glúteo mayor** es el más grande y el más superficial de todos. Toma su origen a lo largo de la línea glútea posterior y en las porciones adyacentes de la cresta ilíaca; en el sacro, el cóccix y los ligamentos asociados; y en la fascia toracolumbar. Con su acción en solitario, este voluminoso músculo produce la extensión y la rotación lateral de la cadera. Su inserción la comparte con el **músculo tensor de la fascia lata,** que se origina en la cresta ilíaca y en la cara lateral de la espina ilíaca anterior superior. En conjunto, ambos músculos tiran del **tracto iliotibial,** una banda de fibras colágenas que recorre la cara lateral del muslo y se inserta en la tibia. Esta cintilla ofrece un refuerzo lateral a la rodilla que cobra una importancia especial cuando una persona se mantiene en equilibrio sobre un pie.

Los **músculos glúteo medio** y **glúteo menor** (v. figura 11.12) tienen un origen anterior al glúteo mayor y se insertan en el trocánter mayor del fémur. Ambos producen la abducción y la rotación medial de la articulación de la cadera. La línea glútea anterior marca el límite entre estos músculos en la cara lateral del ilion [p. 188].

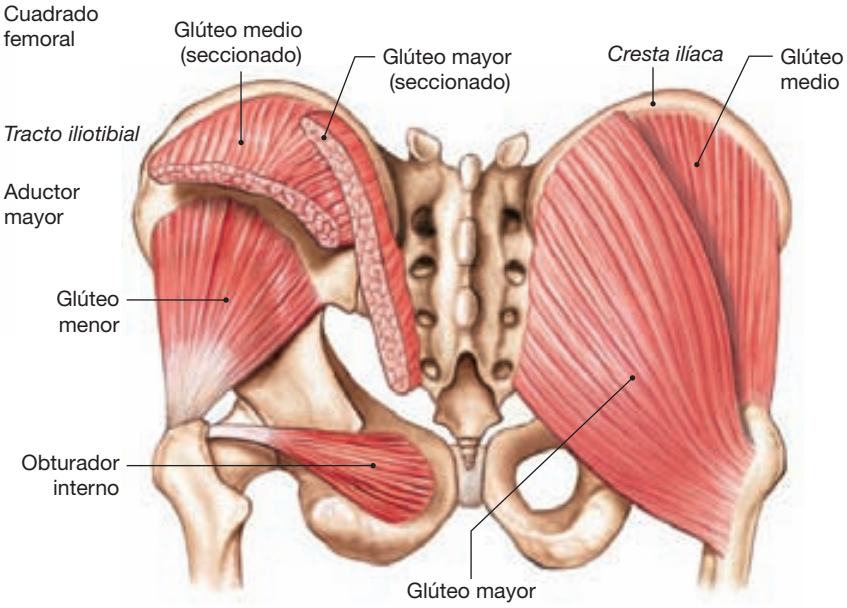
Los seis **rotadores laterales** (v. figuras 11.12a,c y 11.13) se originan en el eje horizontal del acetábulo o por debajo de él, y se insertan en el fémur. Todos provocan una rotación lateral del muslo; además, el **músculo piriforme**



(a) Vista posterior, músculos profundos

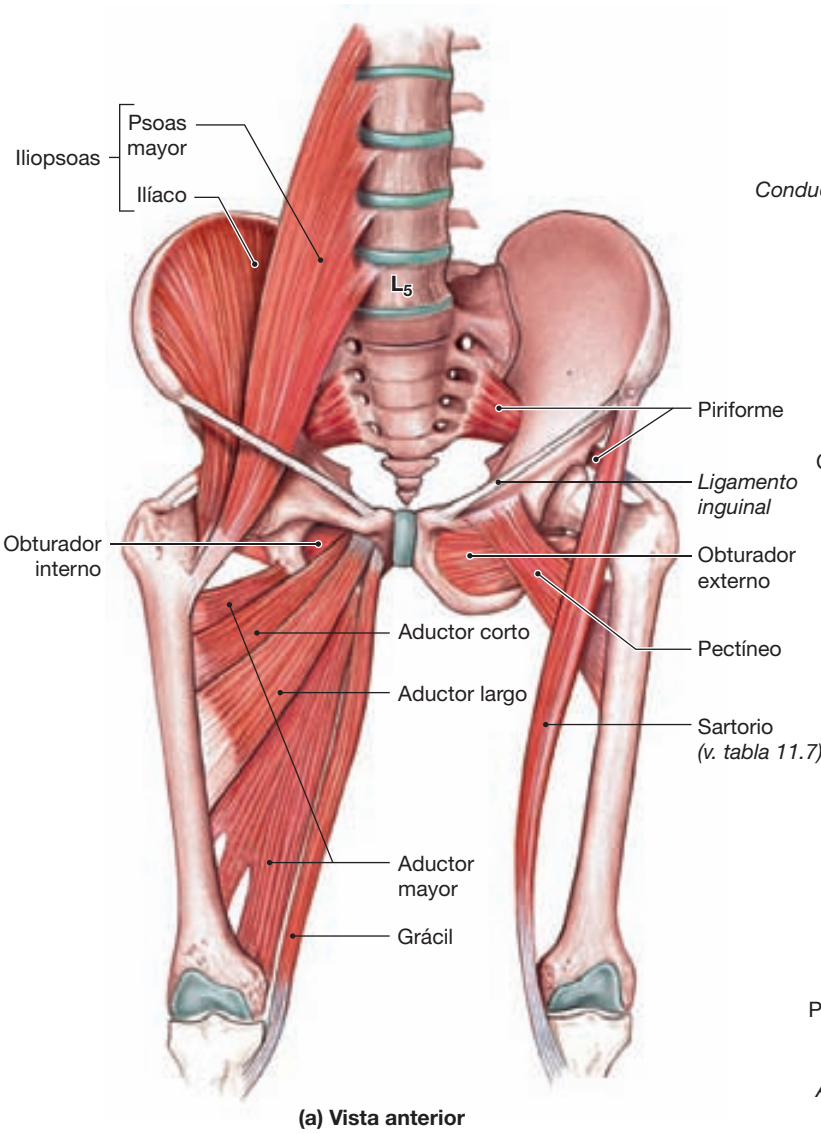


(b) Orígenes, vista lateral

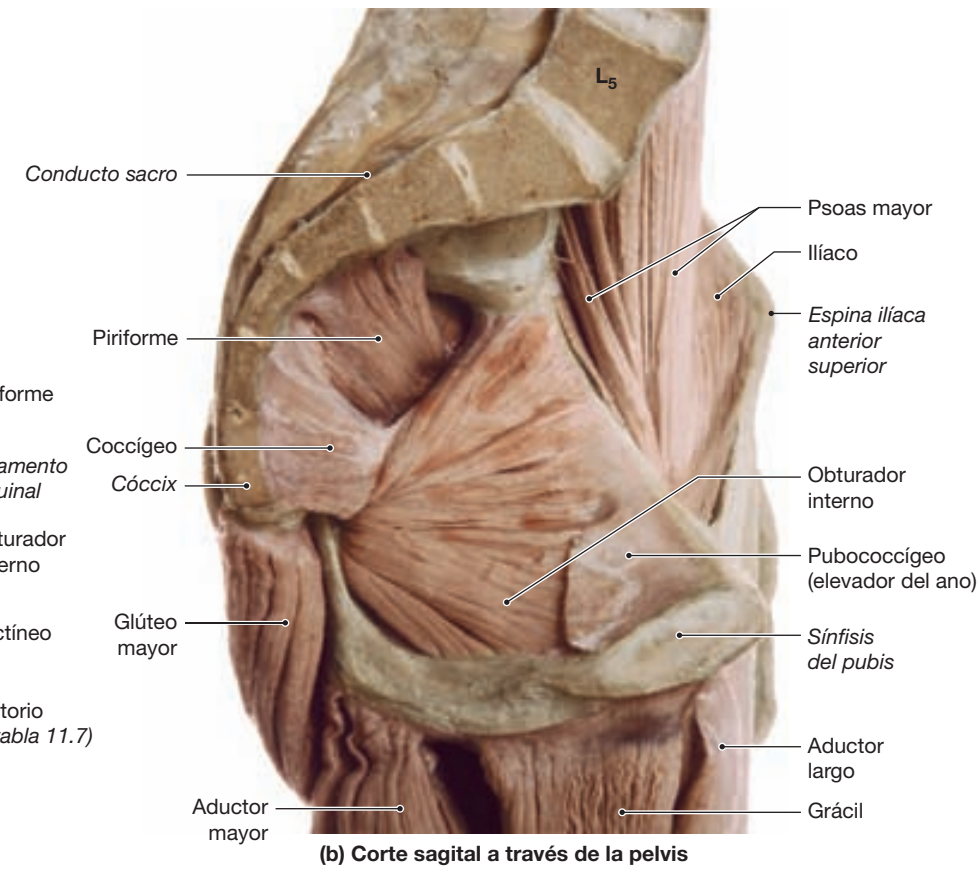


(c) Glúteos y rotadores laterales, vista posterior

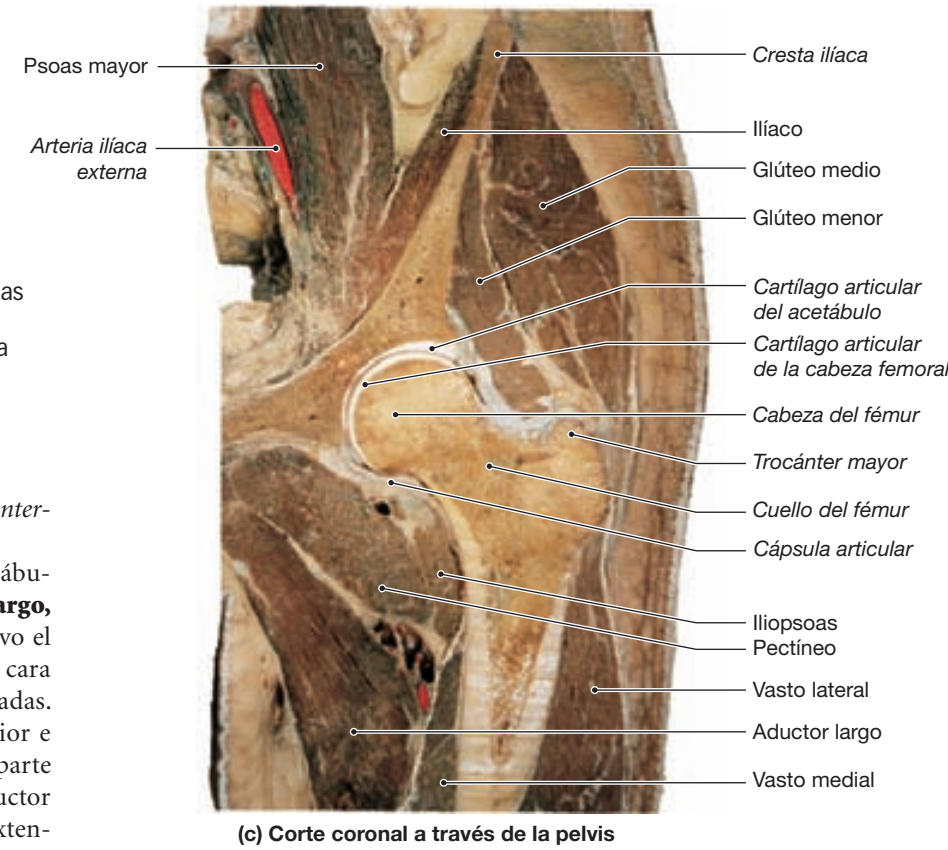
Figura 11.12 Músculos que mueven el muslo, parte I
Músculos glúteos y rotadores laterales de la cadera derecha. **(a)** Vista posterior de la pelvis, que ofrece unas disecciones profundas de los músculos glúteos y rotadores laterales. Para observar una vista superficial de los músculos glúteos, véanse *figuras 11.2 y 11.16.* **(b)** Vista lateral de la pelvis derecha, que muestra el origen de determinados músculos. **(c)** Vista posterior de los músculos glúteos y rotadores laterales; el músculo glúteo mayor se ha resecado para mostrar los músculos profundos. *Véanse también figuras 7.10, 7.11 y 7.14.*



(a) Vista anterior



(b) Corte sagital a través de la pelvis



(c) Corte coronal a través de la pelvis

Figura 11.13 Músculos que mueven el muslo, parte II
Músculo iliopsoas y aductores de la cadera derecha. **(b)** Vista anterior del músculo iliopsoas y el grupo aductor. **(b)** Músculos y estructuras asociadas vistos en un corte sagital que pasa a través de la pelvis. *Véanse también figuras 7.10, 7.11 y 7.14.* **(c)** Corte coronal a través de la cadera, que muestra la articulación coxofemoral en su relación con los músculos que la rodean.

produce la abducción de la cadera. Los **músculos obturadores** *(externo* e *interno)* y piriforme son los rotadores laterales predominantes.

Los **aductores** ocupan una posición inferior a la superficie del acetábulo. Comprenden los **músculos aductor mayor, aductor corto, aductor largo, pectíneo** y **grácil** (v. figura 11.13). Todos se originan en el pubis y, salvo el músculo grácil, se insertan en la línea áspera, una cresta que recorre la cara posterior del fémur (el grácil se inserta en la tibia). Sus acciones son variadas. Todos ellos excepto el músculo aductor mayor tienen un origen anterior e inferior a la articulación de la cadera, por lo que producen su flexión aparte de la aducción. También causan una rotación medial. El músculo aductor mayor puede efectuar una aducción más flexión o una aducción más extensión, según la región estimulada. También puede realizar una rotación medial o lateral. Cuando un deportista sufre un *tirón inguinal,* el problema consiste en la *distensión* —un desgarro o una rotura muscular— de alguno de estos músculos aductores.

La cara medial de la pelvis está ocupada por un solo par de músculos. El **músculo psoas mayor** se origina junto a las vértebras torácicas inferiores y lumbares, y su inserción se realiza sobre el trocánter menor del fémur. Antes de llegar ahí, su tendón se fusiona con el del **músculo ilíaco,** que se halla apoyado en el seno de la fosa ilíaca. Estos músculos, que son dos flexores potentes de la cadera, siguen un trayecto profundo al *ligamento inguinal* y, muchas veces, reciben el nombre de **músculo iliopsoas** (v. figura 11.13).

Una forma de organizar la información sobre estos músculos tan variados consiste en atender a su orientación en torno a la articulación de la cade-

ra. Si su origen está en la pelvis y la inserción en el fémur, generarán unos movimientos característicos, determinados por su posición con respecto al acetábulo (v. tabla 11.6).

Igual que en nuestro análisis dedicado a los músculos del hombro (pp. 290-292), las relaciones entre las líneas de acción y el eje de la articulación de la cadera pueden utilizarse para pronosticar las acciones de los diversos músculos y grupos musculares. Al considerar las líneas de acción de los músculos que actúan sobre la cadera, hay que recordar los siguientes aspectos: 1) el cuello del fémur forma un ángulo con el acetábulo de la cadera de orientación inferior y lateral; 2) el fémur está inclinado y retorcido si se baja desde la cadera hacia la rodilla (**v. figuras 8.14** y **8.15**), **[pp. 222** y **223]**, y 3) muchos de los músculos que actúan sobre la cadera son muy grandes, y sus inserciones cubren amplias regiones. Debido a esto, a menudo poseen más de una línea de acción y, por tanto, realizan más de una acción en la cadera (**v. figura 11.14a**). Por ejemplo, piense en el aductor mayor, un gran músculo de la cadera que tiene tres líneas de acción (**v. figura 11.14b**). Puede aplicarse una u otra, en función de la porción muscular activada; cuando se contraiga todo el músculo, ocasiona una combinación de flexión, extensión y aducción de la cadera.

TABLA 11.6 Músculos que mueven el muslo

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
GRUPO GLÚTEO				
Glúteo mayor	Cresta ilíaca, línea glútea posterior y cara lateral del ilion; sacro, cóccix y fascia toracolumbar	Tracto iliotibial y tuberosidad glútea del fémur	Extensión y rotación lateral de la cadera; contribución a la estabilidad de la rodilla en extensión; abducción de la cadera (únicamente sus fibras superiores)	Nervio glúteo inferior (L_5-S_2)
Glúteo medio	Porción anterior de la cresta ilíaca, cara lateral del ilion entre las líneas glúteas posterior y anterior	Trocánter mayor del fémur	Abducción y rotación medial de la cadera	Nervio glúteo superior (L_4-S_1)
Glúteo menor	Cara lateral del ilion entre las líneas glúteas inferior y anterior	Igual que arriba	Igual que arriba	Igual que arriba
Tensor de la fascia lata	Cresta ilíaca y superficie lateral de la espina ilíaca anterior superior	Tracto iliotibial	Abducción y rotación medial de la cadera; extensión y rotación lateral de la rodilla; tensión de la fascia lata, que proporciona un refuerzo lateral a la rodilla	Igual que arriba
GRUPO ROTADOR LATERAL				
Obturadores (externo e interno)	Bordes lateral y medial del agujero obturado	Fosa trocantérea del fémur (externo); cara medial del trocánter mayor (interno)	Rotación lateral y abducción de la cadera; contribución a la conservación de la estabilidad y la integridad de la cadera	Nervio obturador (externo: L_3-L_4) y un nervio especial del plexo sacro (interno: L_5-S_2)
Piriforme	Cara anterolateral del sacro	Trocánter mayor del fémur	Igual que arriba	Ramas de los nervios sacros (S_1-S_2)
Gemelos (superior e inferior)	Espina ciática (superior) y tuberosidad isquiática (inferior)	Cara medial del trocánter mayor a través del tendón del obturador interno	Igual que arriba	Nervios del músculo obturador interno y del músculo cuadrado femoral
Cuadrado femoral	Borde lateral de la tuberosidad isquiática	Cresta intertrocantérea del fémur	Rotación lateral de la cadera	Nervios especiales del plexo sacro (L_4-S_1)
GRUPO ADUCTOR				
Aductor corto	Rama inferior del pubis	Línea áspera del fémur	Aducción y flexión de la cadera	Nervio obturador (L_3-L_4)
Aductor largo	Rama inferior del pubis en una zona anterior a la del aductor corto	Igual que arriba	Aducción, flexión y rotación medial de la cadera	Igual que arriba
Aductor mayor	Rama inferior del pubis en una zona posterior a la del aductor corto y tuberosidad isquiática	Línea áspera y tubérculo del aductor del fémur	Músculo íntegro: aducción de la cadera; porción anterior: flexión y rotación medial; porción posterior: extensión	Nervios obturador y ciático
Pectíneo	Rama superior del pubis	Línea pectínea por debajo del trocánter menor del fémur	Flexión y aducción de la cadera	Nervio femoral (L_2-L_4)
Grácil	Rama inferior del pubis	Cara medial de la tibia en la zona inferior al cóndilo medial	Flexión y rotación medial de la rodilla; aducción y rotación medial de la cadera	Nervio obturador (L_3-L_4)
GRUPO ILIOPSOAS				
Ilíaco	Fosa ilíaca	Porción del fémur distal al trocánter menor; fusión de su tendón con el del psoas mayor	Flexión de la cadera y/o de las articulaciones interverterbrales lumbares	Nervio femoral (L_2-L_3)
Psoas mayor	Cara anterior de las apófisis transversas de las vértebras (T_{12}-L_5)	Trocánter menor en compañía del ilíaco	Igual que arriba	Ramas del plexo lumbar (L_2-L_3)

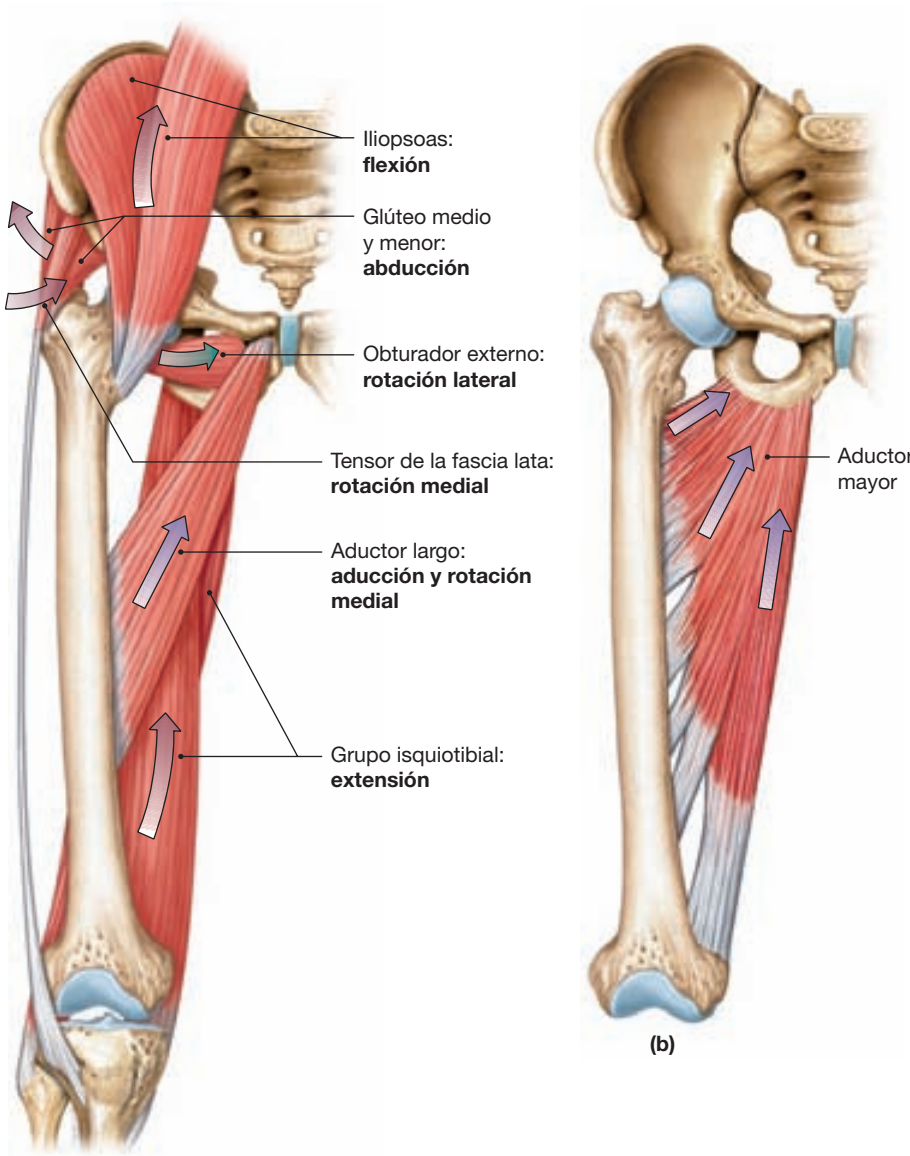


Figura 11.14 **Relaciones entre las líneas de acción y el eje de la articulación de la cadera**
(a) Ejemplos de varios músculos con más de una línea de acción que cruza el eje de la cadera. **(b)** Líneas de acción del aductor mayor. **(c)** Vista lateral de la articulación de la cadera que presenta las líneas de acción seguidas por los músculos que mueven el muslo.

Nota clínica

Inyecciones intramusculares Por lo común, los fármacos se inyectan en los tejidos mediante agujas huecas en vez de hacerlo directamente al torrente circulatorio (acceder a los vasos sanguíneos puede plantear mayores complicaciones técnicas). Una *inyección intramuscular (IM)* introduce una cantidad bastante grande del producto, que a continuación penetrará en la circulación de forma gradual. El medicamento queda depositado en plena masa de un gran músculo estriado. En general, su captación es más rápida que con la administración intradérmica o subcutánea (inyección en la dermis o en la hipodermis, respectivamente), y va acompañada por una menor irritación tisular. Según el tamaño del músculo, cada vez pueden inyectarse hasta 5 mL de líquido, y repetir múltiples inyecciones. Las decisiones referidas a la técnica y el lugar de la inyección están basadas en el tipo de fármaco y en su concentración.

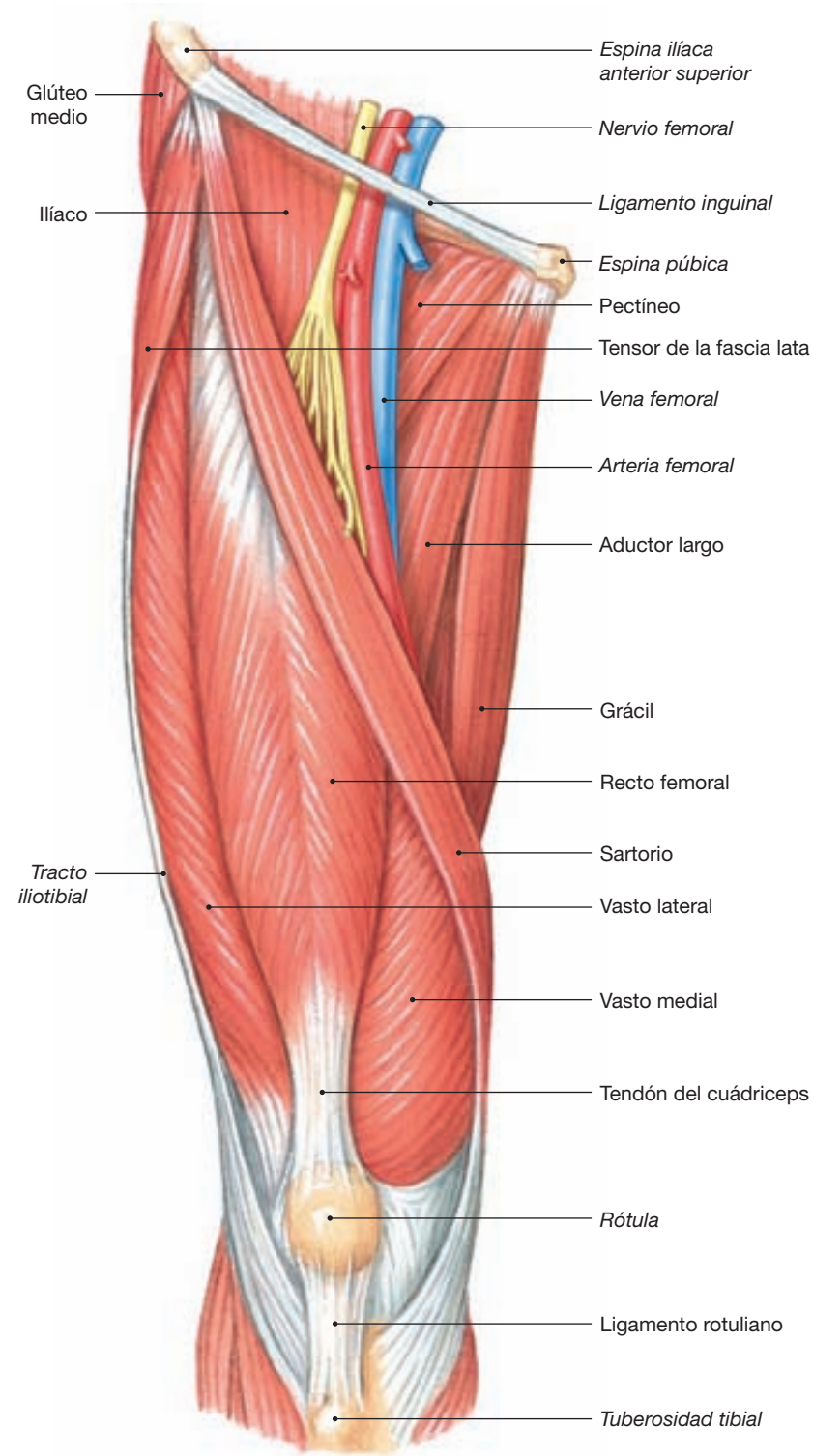
En las inyecciones IM, las complicaciones más frecuentes derivan de la entrada accidental en un vaso sanguíneo o de la perforación de un nervio. La llegada repentina de inmensas cantidades de un fármaco al torrente circulatorio puede tener consecuencias letales y la afectación de un nervio producir una parálisis motora o una hipoestesia. Por tanto, hay que escoger con cuidado el punto de inyección. Los músculos voluminosos que contienen pocos vasos o nervios grandes representan los lugares ideales. El músculo glúteo medio o la porción posterior, lateral y superior del glúteo mayor son los más habituales. El músculo deltoides del brazo, en una zona separada unos 2,5 cm del acromion en sentido distal, constituye otra opción eficaz. Probablemente la zona más satisfactoria desde un punto de vista técnico sea el músculo vasto lateral del muslo; una inyección en este músculo grueso no tropezará ni con vasos ni con nervios, pero más adelante puede provocar dolor al utilizar el músculo para caminar. Sí que es la alternativa predilecta en los lactantes antes de que empiecen a andar, pues tienen unos músculos glúteos y deltoides relativamente pequeños. Este punto también se emplea en los pacientes ancianos o en las personas con atrofia de los músculos glúteos y deltoides.

La cadera, al igual que el hombro, es una articulación sinovial multiaxial que permite la flexión/extensión, aducción/abducción y rotación medial/lateral. En términos generales, las acciones musculares pueden resumirse así (**v. figura 11.14c**):

- Los músculos cuya línea de acción lleve un trayecto posterior al eje de la articulación coxofemoral, como los isquiotibiales, son extensores de la cadera.
- Los músculos cuya línea de acción lleve un trayecto anterior al eje de la articulación coxofemoral, como el grupo iliopsoas y las fibras anteriores del glúteo medio, son flexores de la cadera.
- Los músculos cuya línea de acción lleve un trayecto medial al eje de la articulación coxofemoral, como el músculo aductor largo, son aductores de la cadera.
- Los músculos cuya línea de acción lleve un trayecto lateral al eje de la articulación coxofemoral, como el glúteo medio y el glúteo menor, son abductores de la cadera.

Los músculos cuya línea de acción lleve un trayecto medial al eje de la articulación coxofemoral, como el tensor de la fascia lata o el aductor largo (**v. figuras 11.14** y **11.5**), pueden producir una rotación medial, mientras que si el trayecto es lateral, como en el caso del obturador externo, realizarán una rotación lateral de la cadera.

(a) Anatomía de superficie, vista anteromedial



(b) Músculos cuádriceps y del muslo, vista anterior

Figura 11.15 Músculos que mueven la pierna, parte I

(a) Anatomía de superficie del muslo derecho, vista anteromedial. **(b)** Vista anterior esquemática de los músculos superficiales del muslo derecho. **(c)** Vista anterior de una disección de los músculos del muslo derecho. **(d)** Corte transversal del muslo derecho. **(e)** Vista anterior de los huesos de la extremidad inferior derecha que muestra el origen y la inserción de determinados músculos.

Músculos que mueven la pierna [v. figuras 11.15 a 11.17 y tabla 11.7]

Los músculos que mueven la pierna están detallados en las **figuras 11.15** a **11.17** y en la tabla 11.7. Al igual que en nuestro análisis sobre los músculos del hombro y de la cadera (pp. 290-292 y 304-305), las relaciones entre las líneas de acción y el eje de la articulación de la rodilla pueden emplearse para pronosticar las acciones ejercidas por los diversos músculos y grupos musculares. Sin embargo, su orientación anterior/posterior es la inversa en los que mueven la pierna. Esto tiene que ver con la rotación del miembro durante el desarrollo embrionario *(v. capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano»)*. Por esta razón:

- Los músculos cuya línea de acción siga un trayecto anterior al eje de la articulación de la rodilla, como el cuádriceps femoral, son extensores de esta articulación.
- Los músculos cuya línea de acción siga un trayecto posterior al eje de la articulación de la rodilla, como los isquiotibiales, son flexores de la misma.

La mayor parte de los músculos extensores se originan en la superficie del fémur y recorren las caras anterior y lateral del muslo (**v. figuras 11.15** y **11.16**). Los músculos flexores se originan en la cintura pélvica y recorren las caras posterior y medial del muslo (**v. figura 11.17**). En conjunto, los extensores de la rodilla (**v. figuras 11.15** y **11.16**) reciben el nombre de *músculo cuádriceps* o *cuádriceps femoral*. Los tres **músculos vastos (vasto lateral, vasto medial** y **vasto intermedio)** se originan a lo largo del cuerpo del fémur, y acogen al **músculo recto femoral** del mismo modo que un panecillo rodea a un perrito caliente. Los cuatro músculos se insertan en la tuberosidad tibial a través del tendón del cuádriceps, la rótula y el ligamento rotuliano. El músculo recto femoral se origina en la espina ilíaca anterior

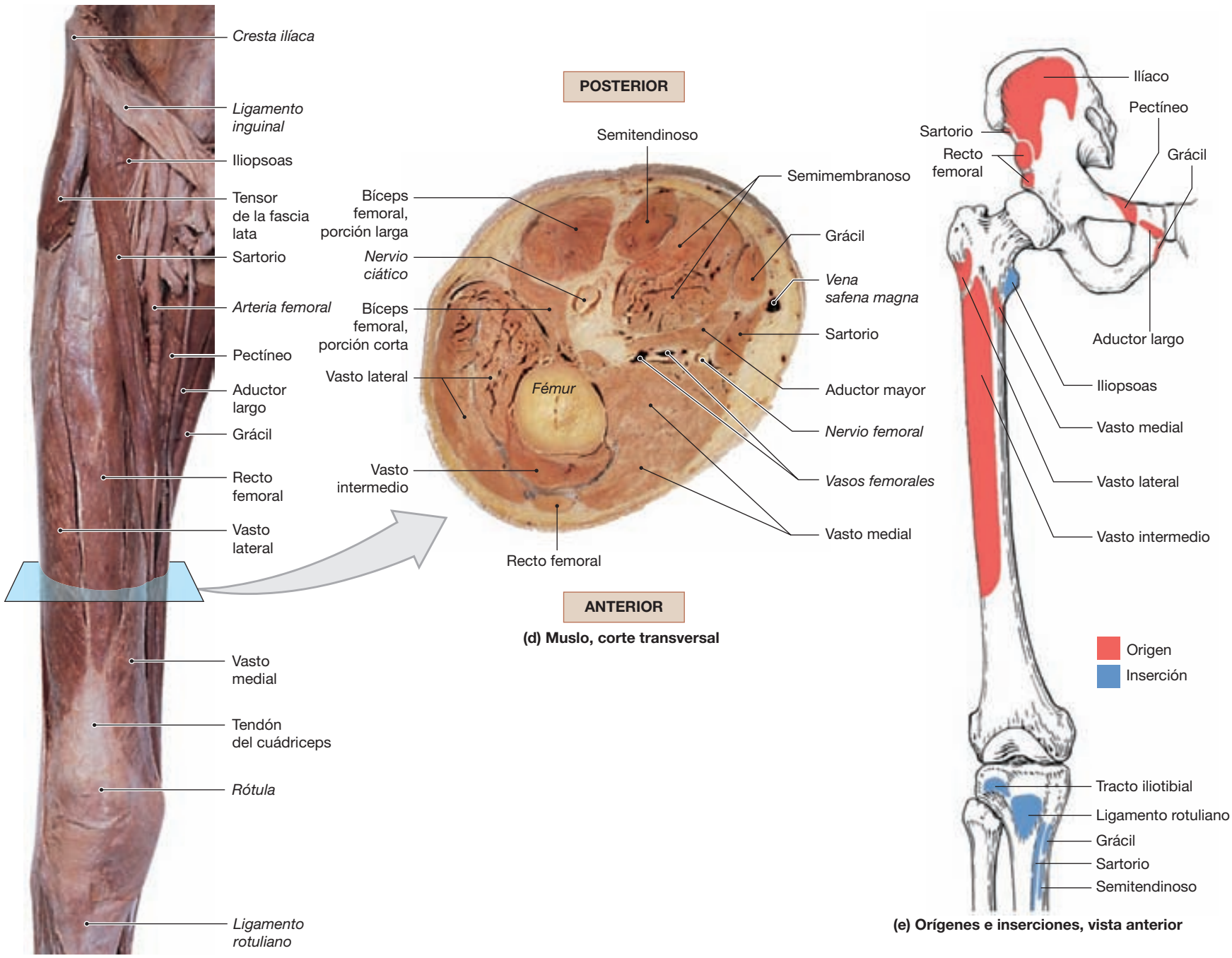


Figura 11.15 ***(cont.)***

TABLA 11.7 Músculos que mueven la pierna

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
FLEXORES DE LA RODILLA				
Bíceps femoral	Tuberosidad isquiática y línea áspera del fémur	Cabeza del peroné y cóndilo lateral de la tibia	Flexión de la rodilla; extensión y rotación lateral de la cadera	Nervio ciático; porción tibial (S_1-S_3 para la porción larga) y rama peronea común (L_5-S_2 para la porción corta)
Semimembranoso	Tuberosidad isquiática	Cara posterior del cóndilo medial de la tibia	Flexión de la rodilla; extensión y rotación medial de la cadera	Nervio ciático (porción tibial: L_5-S_2)
Semitendinoso	Igual que arriba	Porción proximal de la cara medial de la tibia cerca de la inserción del grácil	Igual que arriba	Igual que arriba
Sartorio	Espina ilíaca anterior superior	Cara medial de la tibia cerca de la tuberosidad tibial	Flexión de la rodilla; abducción, flexión y rotación lateral de la cadera	Nervio femoral (L_2-L_3)
Poplíteo	Cóndilo lateral del fémur	Cara posterior de la porción proximal del cuerpo de la tibia	Rotación medial de la tibia (o rotación lateral del fémur) en la rodilla; flexión de la rodilla	Nervio tibial (L_4-S_1)
EXTENSORES DE LA RODILLA				
Recto femoral	Espina ilíaca anterior inferior y borde acetabular superior del ilion	Tuberosidad tibial a través del tendón del cuádriceps, la rótula y el ligamento rotuliano	Extensión de la rodilla; flexión de la cadera	Nervio femoral (L_2-L_4)
Vasto intermedio	Cara anterolateral del fémur y línea áspera (mitad distal)	Igual que arriba	Extensión de la rodilla	Igual que arriba
Vasto lateral	Porción del fémur anterior e inferior al trocánter mayor y línea áspera (mitad proximal)	Igual que arriba	Igual que arriba	Igual que arriba
Vasto medial	Línea áspera del fémur en toda su integridad	Igual que arriba	Igual que arriba	Igual que arriba

TABLA 11.8 Músculos extrínsecos que mueven el pie y los dedos

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
ACCIÓN SOBRE EL TOBILLO				
FLEXORES DORSALES				
Tibial anterior	Cóndilo lateral y porción proximal del cuerpo de la tibia	Base del primer metatarsiano y cuneiforme medial	Flexión dorsal del tobillo; inversión del pie	Nervio peroneo profundo (L_4-S_1)
FLEXORES PLANTARES				
Gastrocnemio	Cóndilos del fémur	Calcáneo a través del tendón calcáneo	Flexión plantar del tobillo; flexión de la rodilla	Nervio tibial (S_1-S_2)
Peroneo corto	Borde mediolateral del peroné	Base del quinto metatarsiano	Eversión del pie y flexión plantar del tobillo	Nervio peroneo superficial (L_4-S_1)
Peroneo largo	Cabeza y porción proximal del cuerpo del peroné	Base del primer metatarsiano y cuneiforme medial	Eversión del pie y flexión plantar del tobillo; apoyo del tobillo; sostén de los arcos longitudinal y transversal	Igual que arriba
Plantar	Línea supracondílea lateral	Porción posterior del calcáneo	Flexión plantar del tobillo; flexión de la rodilla	Nervio tibial (L_4-S_1)
Sóleo	Cabeza y porción proximal del cuerpo del peroné, y porción posteromedial adyacente del cuerpo de la tibia	Calcáneo a través del tendón calcáneo (con el gastrocnemio)	Flexión plantar del tobillo; músculo postural en bipedestación	Nervio ciático: rama tibial (S_1-S_2)
Tibial posterior	Membrana interósea y porción adyacente del cuerpo de la tibia y el peroné	Navicular, los tres cuneiformes, cuboides y segundo, tercer y cuarto metatarsianos	Inversión del pie; flexión plantar del tobillo	Igual que arriba
ACCIÓN SOBRE LOS DEDOS				
FLEXORES DE LOS DEDOS				
Flexor largo de los dedos	Cara posteromedial de la tibia	Cara inferior de las falanges distales de los dedos 2-5	Flexión de las articulaciones de los dedos 2-5; flexión plantar del tobillo	Rama tibial (L_5-S_1)
Flexor largo del dedo gordo	Cara posterior del peroné	Cara inferior de la falange distal del dedo gordo	Flexión de las articulaciones del dedo gordo; flexión plantar del tobillo	Igual que arriba
EXTENSORES DE LOS DEDOS				
Extensor largo de los dedos	Cóndilo lateral de la tibia y cara anterior del peroné	Cara superior de las falanges de los dedos 2-5	Extensión de los dedos 2-5; flexión dorsal del tobillo	Nervio peroneo profundo (L_5, S_1)
Extensor largo del dedo gordo	Cara anterior del peroné	Cara superior de la falange distal del dedo gordo	Extensión de las articulaciones del dedo gordo; flexión dorsal del tobillo	Igual que arriba

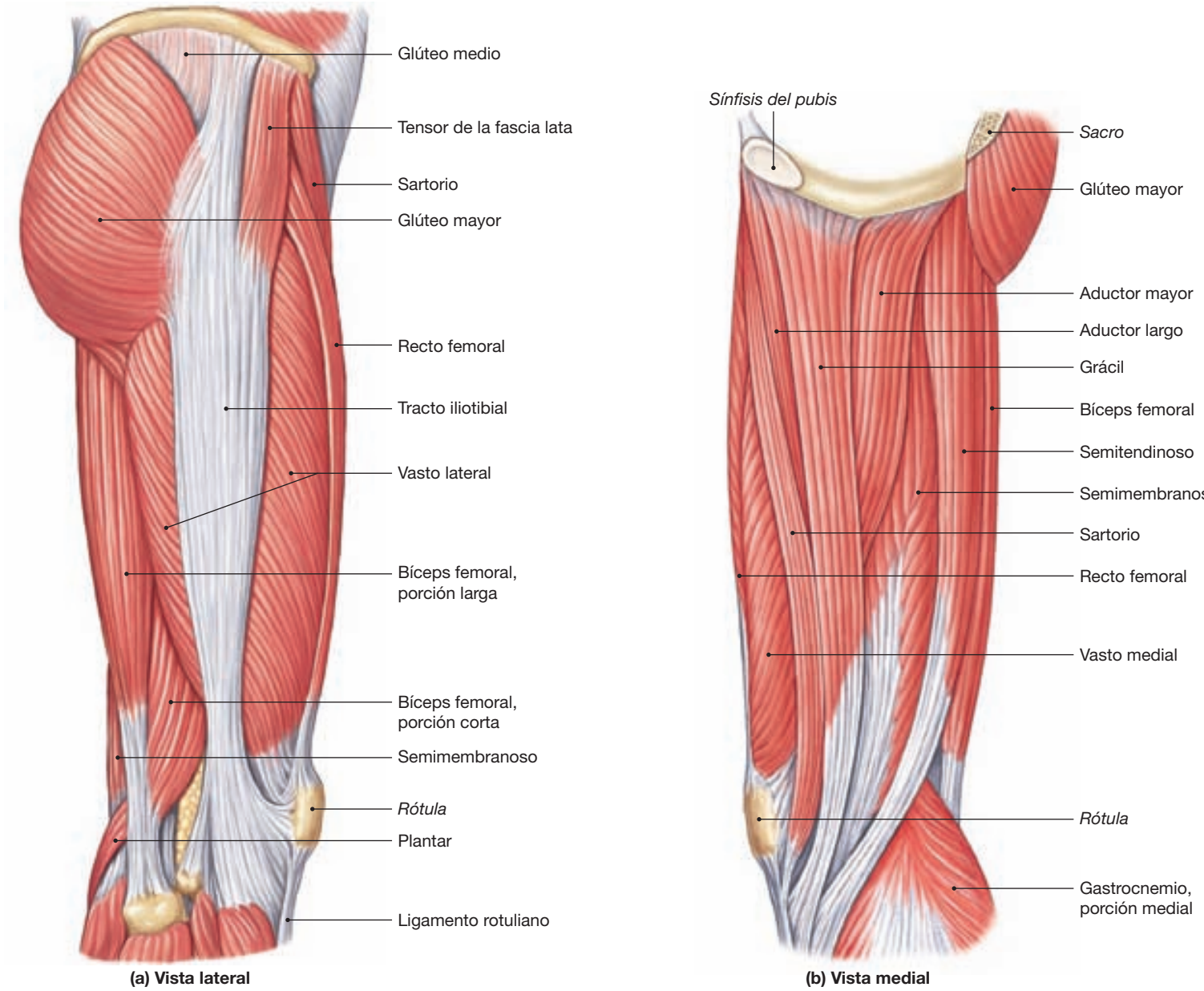


Figura 11.16 Músculos que mueven la pierna, parte II
(a) Vista lateral de los músculos del muslo derecho. **(b)** Vista medial de los músculos del muslo derecho.

inferior, por lo que además de extender la rodilla, puede contribuir a la flexión de la cadera.

Los flexores de la rodilla son los **músculos bíceps femoral, semimembranoso, semitendinoso** y **sartorio** (v. figuras 11.15a, 11.16a,b y 11.17). Estos músculos se originan a lo largo del borde de la pelvis y se insertan en la tibia y el peroné. Su contracción produce la flexión de la rodilla. Como los músculos bíceps femoral, semimembranoso y semitendinoso se originan en la pelvis en una zona inferior y posterior al acetábulo, su acción también causa la extensión de la cadera. Estos músculos a menudo reciben la denominación de *isquiotibiales.*

El músculo sartorio es el único flexor de la rodilla con un origen superior al acetábulo, y su inserción se encuentra a lo largo de la cara medial de la tibia. Al contraerse, ocasiona la flexión, abducción y rotación lateral de la cadera, tal como sucede al cruzar las piernas. En el capítulo 8 señalamos que la articulación de la rodilla puede quedar bloqueada en extensión máxima por una ligera rotación lateral de la tibia [p. 225]. El pequeño **músculo poplíteo** se origina en el fémur cerca de su cóndilo lateral y se inserta en la porción posterior del cuerpo de la tibia (v. figura 11.18). Al iniciar la flexión de la rodilla, este músculo se contrae para producir una ligera rotación medial de la tibia que desbloquee la articulación. La figura 11.17d muestra la anatomía de superficie de la cara posterior del muslo y los detalles asociados a algunos de los flexores de la rodilla.

Músculos que mueven el pie y los dedos

Músculos extrínsecos del pie [v. figuras 11.18 a 11.21a,b y tabla 11.8]

Los músculos extrínsecos del pie que mueven esta estructura y los dedos (v. figuras 11.18 a 11.21a,b) se detallan en la tabla 11.8. La mayor parte de los que actúan sobre el tobillo producen la flexión plantar que tiene lugar en los movimientos realizados al caminar y al correr.

El amplio **músculo gastrocnemio** (*gaster,* estómago + *kneme,* rodilla) está en la pantorrilla y es un flexor plantar importante, pero las fibras musculares lentas del **músculo sóleo** subyacente lo convierten en el músculo más potente de todos. Para verlos es mejor una vista posterior y lateral (v. figuras 11.18 y 11.19b,c). El músculo gastrocnemio nace a partir de dos tendones que se fijan

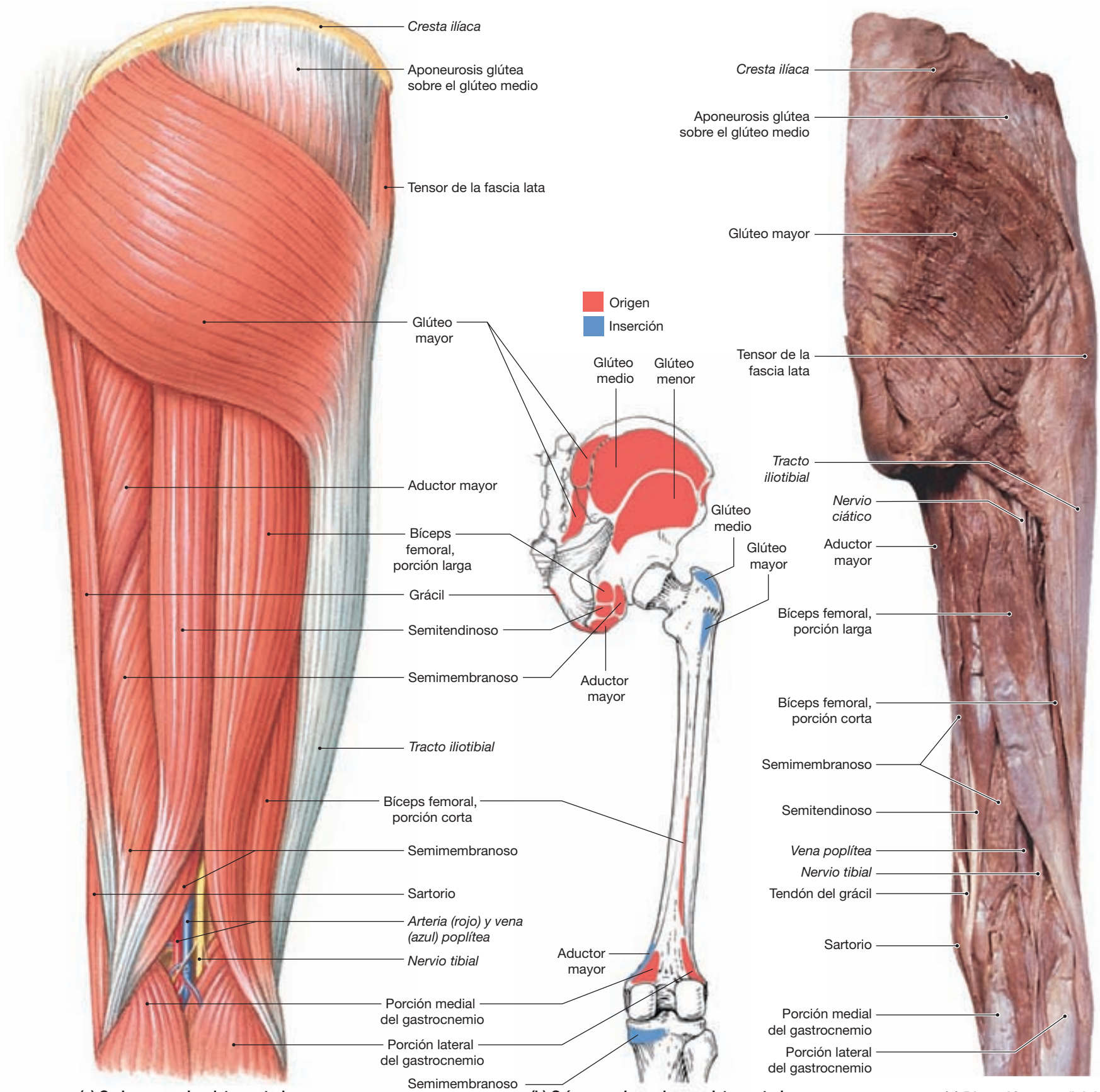


Figura 11.17 Músculos que mueven la pierna, parte III

(a) Vista posterior de los músculos superficiales del muslo derecho. **(b)** Vista posterior de los huesos de la cadera, el muslo y la parte proximal de la pierna derecha, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. **(c)** Vista posterior de una disección de los músculos del muslo y de la parte proximal de la pierna (parte 1). **(d)** Anatomía de superficie del muslo derecho, vista posterior. **(e)** Músculos profundos de la parte posterior del muslo. **(f)** Vista posterior de los huesos de la cadera, el muslo y la parte proximal de la pierna derecha, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos (parte 2).

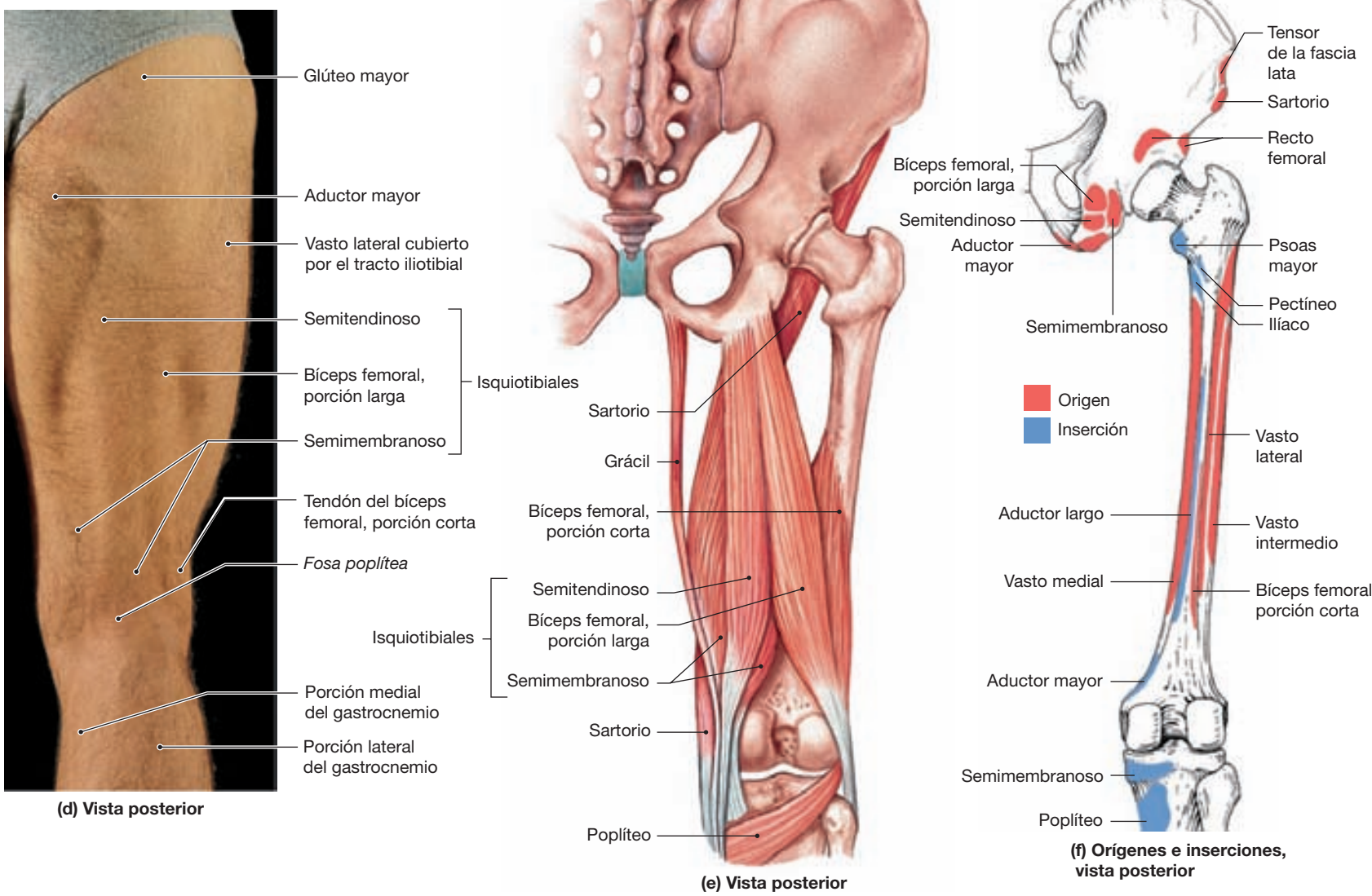


Figura 11.17 ***(cont.)***

en los cóndilos medial y lateral y en las porciones adyacentes del fémur. Dentro de su interior suele haber un hueso sesamoideo, la *fabela.* Los músculos sóleo y gastrocnemio comparten un tendón en común, el **tendón calcáneo.** Este tendón también puede llamarse *tendón de Aquiles.*

Los dos **músculos peroneos** están parcialmente cubiertos por los músculos gastrocnemio y sóleo (**v. figura 11.18b,c,d**). También reciben la denominación de *músculos peroneos,* y producen la eversión del pie, así como la flexión plantar del tobillo. La inversión del pie está ocasionada por la contracción de los **músculos tibiales;** el **músculo tibial anterior** se opone al músculo gastrocnemio y efectúa la flexión dorsal del tobillo (**v. figuras 11.19** y **11.20**).

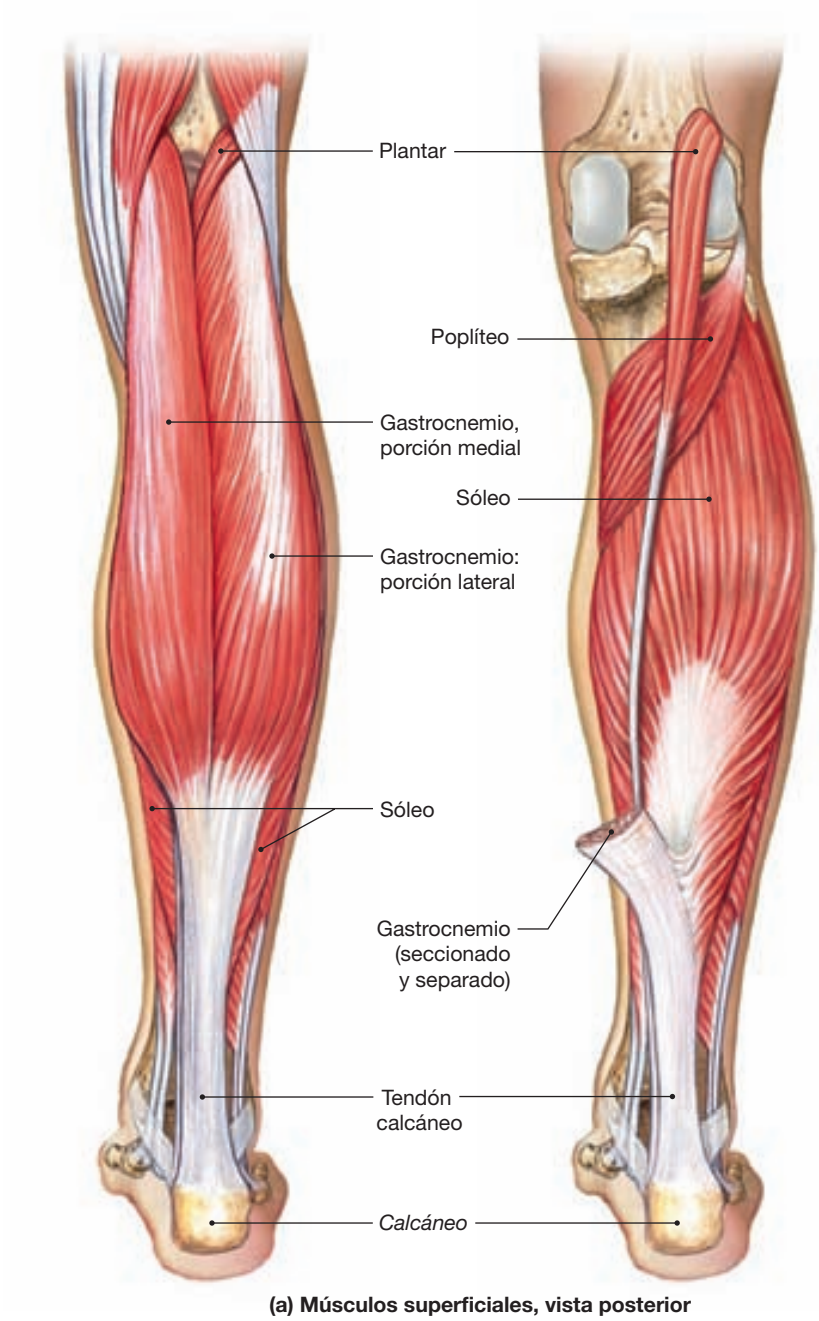
Los músculos más importantes que mueven los dedos del pie se originan sobre la superficie de la tibia, del peroné o de ambos (**v. figuras 11.18** a **11.20**). Unas vainas tendinosas grandes rodean a los tendones de los músculos tibial anterior, extensor largo de los dedos y extensor largo del dedo gordo cuando cruzan la articulación del tobillo. La posición de estas vainas está estabilizada por los **retináculos superior** e **inferior de los músculos extensores** (**v. figuras 11.19, 11.20a** y **11.21a**).

Músculos intrínsecos del pie [v. figura 11.21 y tabla 11.9]

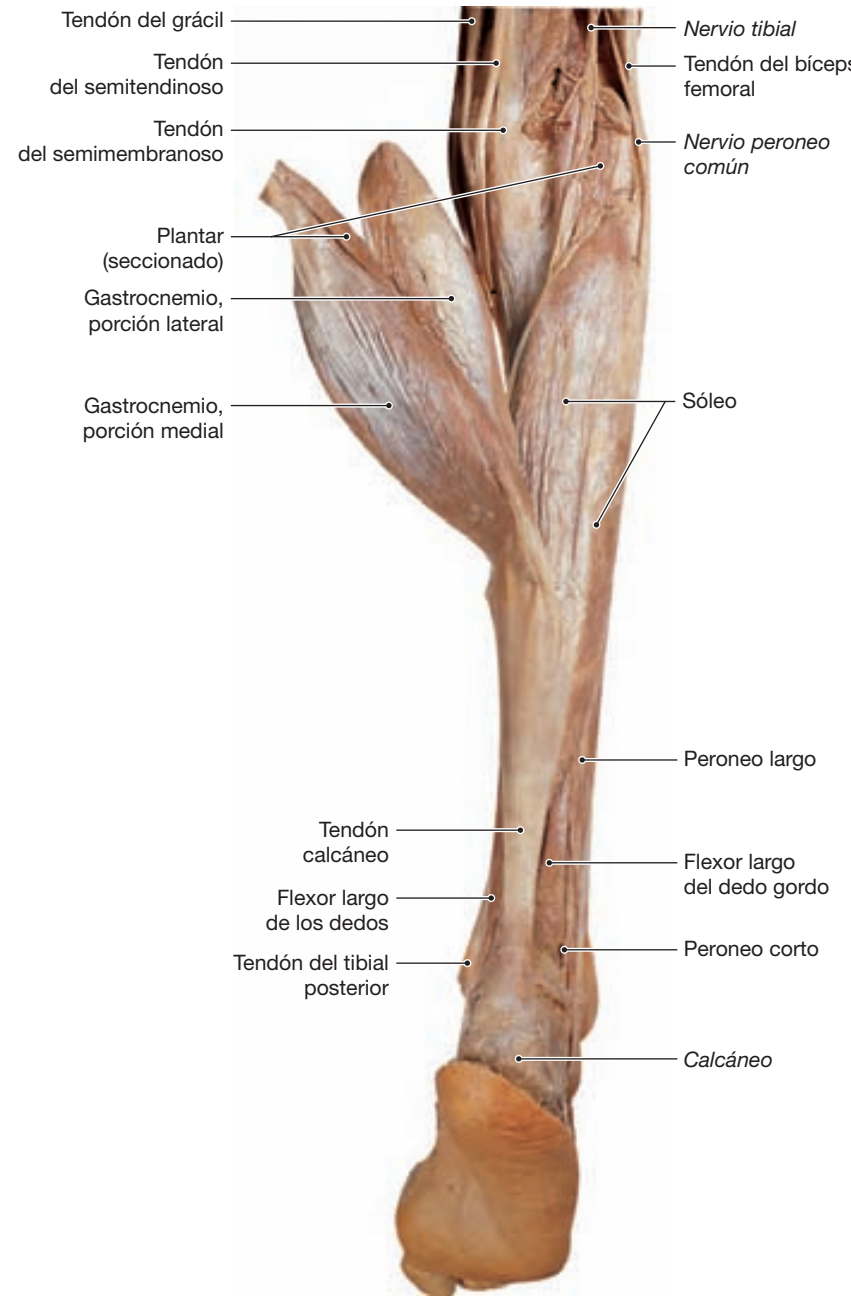
Los pequeños músculos intrínsecos que mueven los dedos del pie se originan en los huesos del tarso y del pie (**v. figura 11.21** y tabla 11.9). Parte de los flexores lo hacen en el borde anterior del calcáneo; su tono muscular contribuye a mantener el arco longitudinal del pie.

Al igual que en la mano, los pequeños músculos interóseos tienen su origen en las caras lateral y medial de los metatarsianos. Los cuatro **músculos interóseos dorsales** realizan la abducción de las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos 3 y 4, mientras que los tres **músculos interóseos plantares** se encargan de la aducción de las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos 3-5.

Tres músculos intrínsecos del pie mueven el dedo gordo. El **músculo flexor corto del dedo gordo** realiza su flexión, el **músculo aductor del dedo gordo** su aducción y el **músculo abductor del dedo gordo** su abducción.



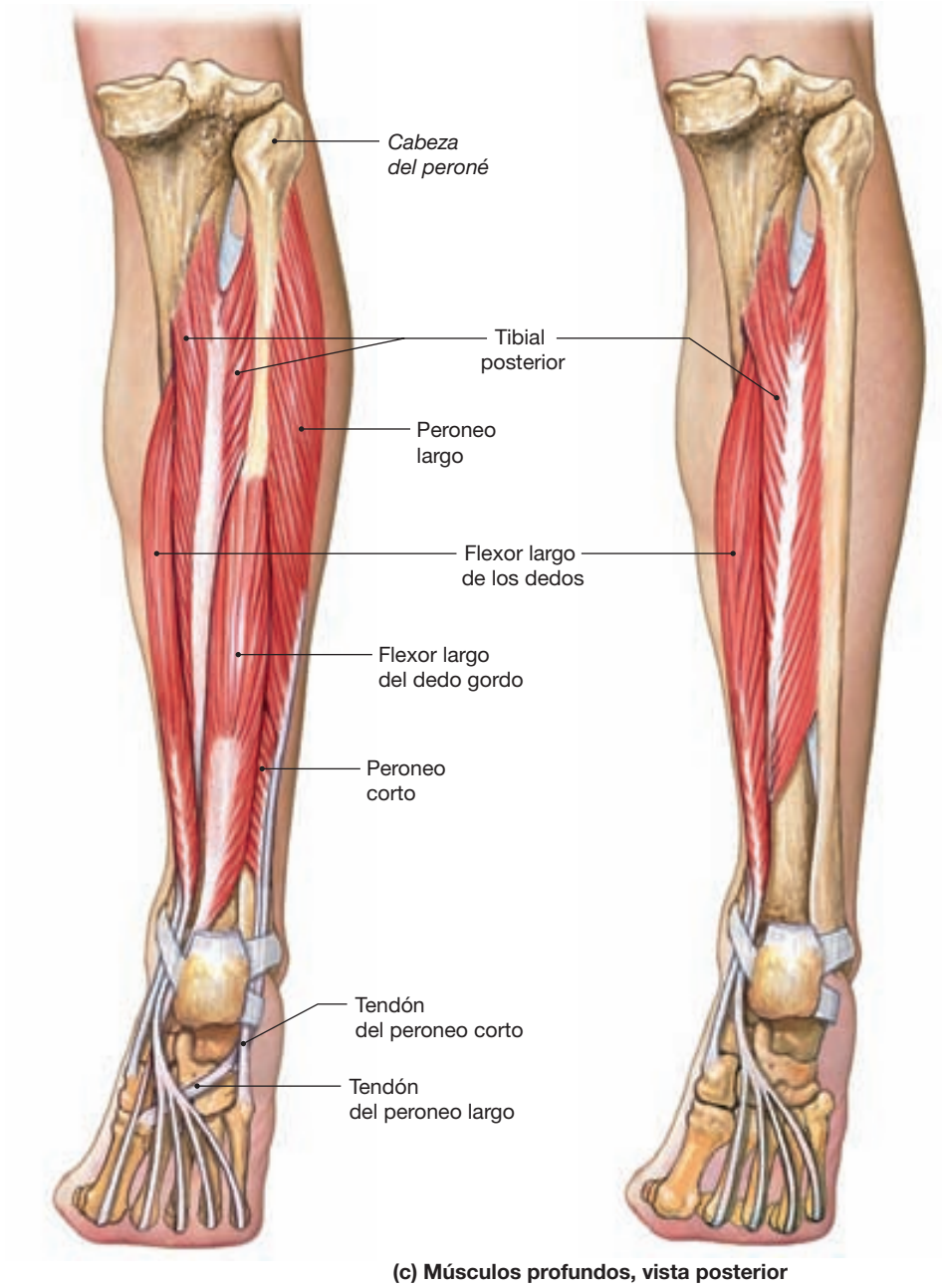
(a) Músculos superficiales, vista posterior



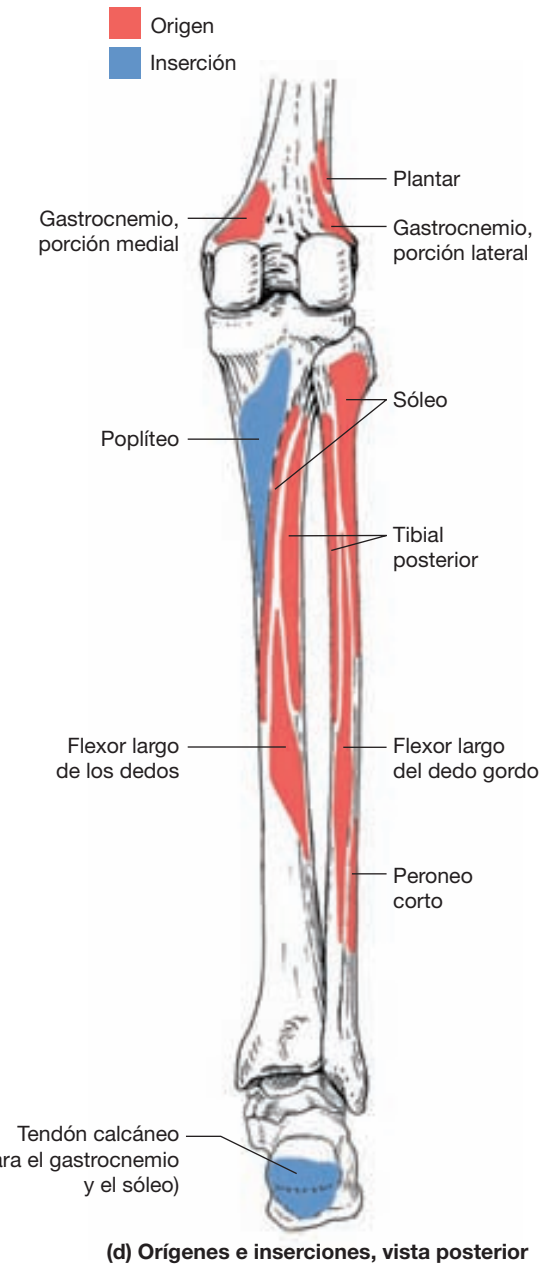
(b) Vista posterior

Figura 11.18 Músculos extrínsecos que mueven el pie y los dedos, parte I

(a) Músculos superficiales de la cara posterior de las piernas; estos músculos grandes son básicamente los responsables de la flexión plantar. **(b)** Vista posterior de una disección de los músculos superficiales de la pierna derecha. **(c)** Vista posterior de los músculos más profundos de la pierna. **(d)** Vista posterior de los huesos de la pierna y el pie derechos, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. Para consultar vistas con cortes de la pierna, véase *figura 11.24c,d.*



(c) Músculos profundos, vista posterior



(d) Orígenes e inserciones, vista posterior

Figura 11.18 ***(cont.)***

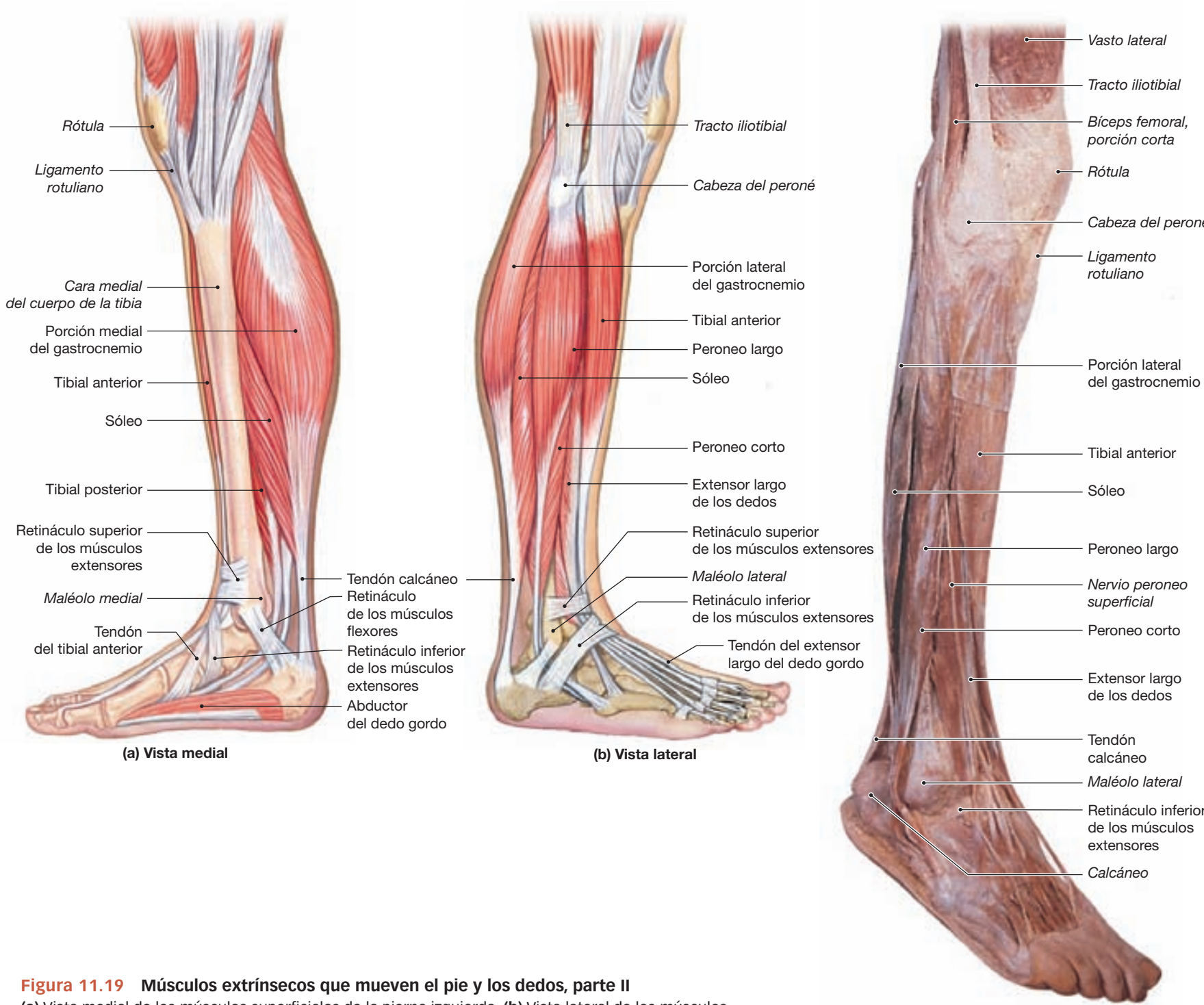


Figura 11.19 Músculos extrínsecos que mueven el pie y los dedos, parte II
(a) Vista medial de los músculos superficiales de la pierna izquierda. **(b)** Vista lateral de los músculos superficiales de la pierna derecha. **(c)** Vista lateral de una disección de los músculos superficiales de la pierna derecha.

Son más los músculos intrínsecos que participan en la flexión de las articulaciones de los dedos que en su extensión. El **músculo flexor corto de los dedos,** el **músculo cuadrado plantar** y los cuatro **músculos lumbricales** son los responsables de flexionar las articulaciones de los dedos 2-5. El **músculo flexor corto del quinto dedo** se encarga de flexionar el dedo 5. La extensión de los dedos la lleva a cabo el **músculo extensor corto de los dedos.** Este músculo presta ayuda al músculo extensor largo del dedo gordo en la extensión de este dedo, y también al músculo extensor largo de los dedos (v. tabla 11.8) en la extensión de los dedos 2-4. Es el único músculo intrínseco presente en el dorso del pie.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué movimiento de la pierna se vería alterado por una lesión de los músculos obturadores?
2. Muchas veces se oye que los deportistas sufren un «tirón de los isquiotibiales». Describa los músculos que participan en esta lesión.
3. ¿A qué grupo de músculos pertenecen el pectíneo y el grácil?
4. ¿Cuál es el nombre conjunto para los extensores de la rodilla?

Véase «Respuestas» al final del libro.

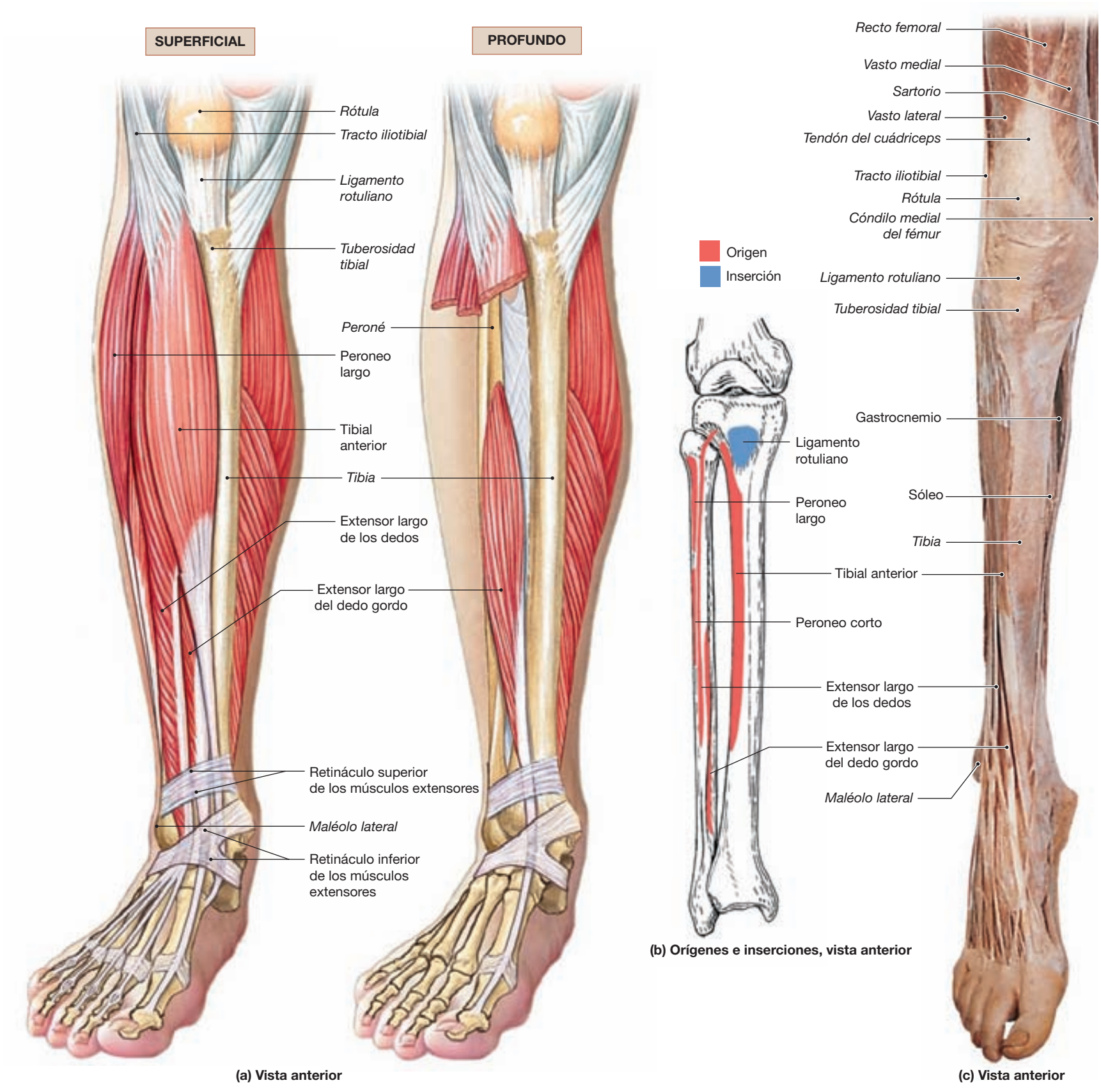
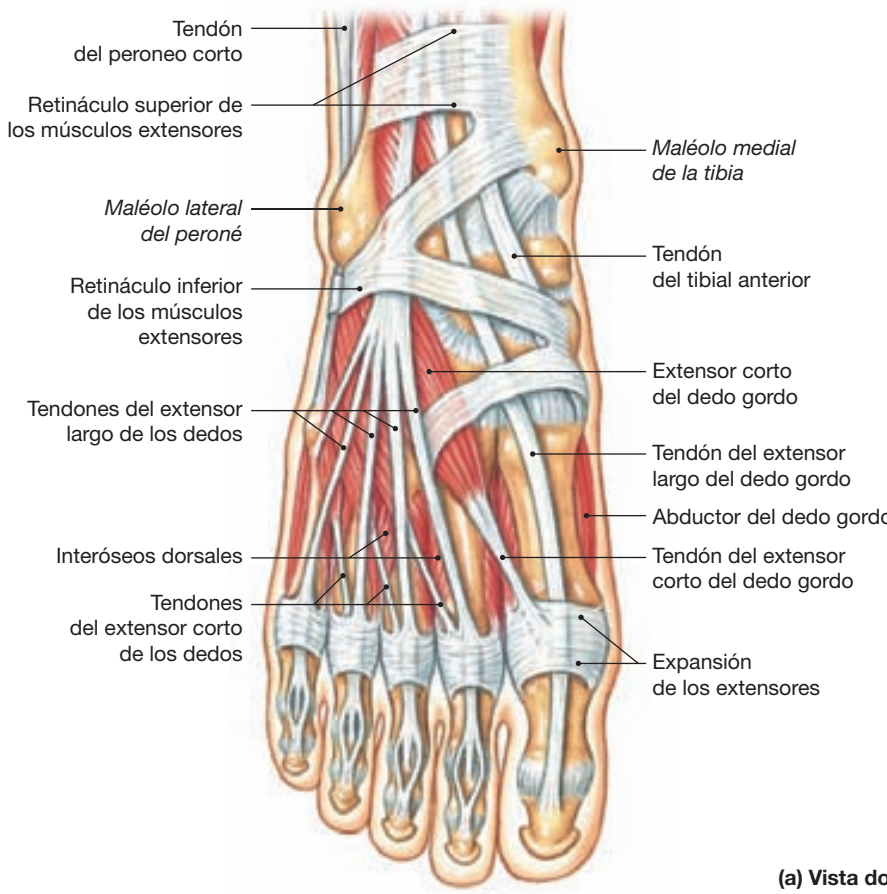
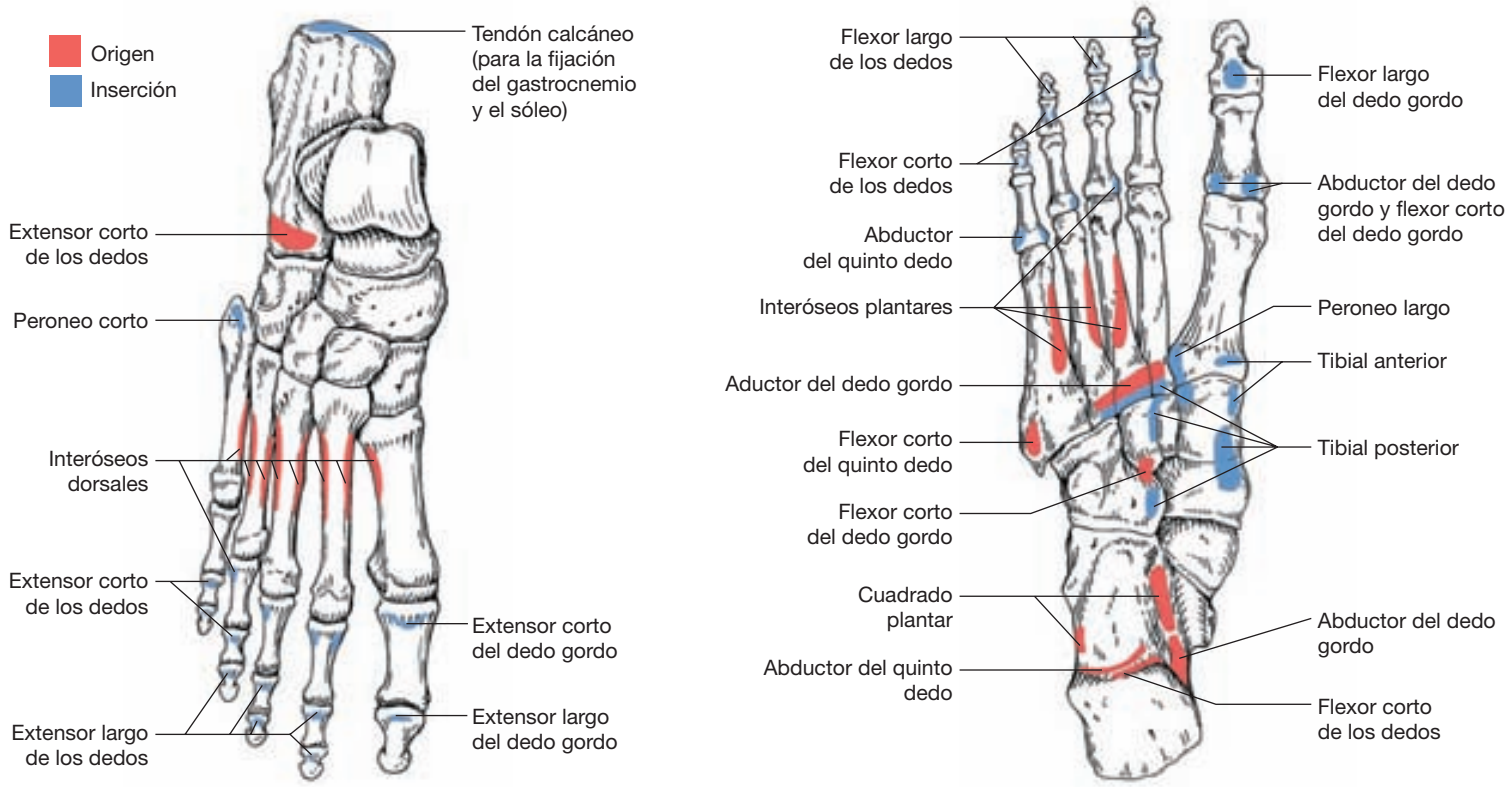


Figura 11.20 Músculos extrínsecos que mueven el pie y los dedos, parte III

(a) Vistas anteriores que muestran los músculos superficiales y profundos de la pierna derecha. **(b)** Vista anterior de los huesos de la pierna derecha, que muestra el origen y la inserción de determinados músculos. **(c)** Vista anterior de una disección de los músculos superficiales de la pierna derecha.


Tendón del peroneo corto
Retináculo superior de los músculos extensores
Maléolo lateral del peroné
Retináculo inferior de los músculos extensores
Tendones del extensor largo de los dedos
Interóseos dorsales
Tendones del extensor corto de los dedos
Maléolo medial de la tibia
Tendón del tibial anterior
Extensor corto del dedo gordo
Tendón del extensor largo del dedo gordo
Abductor del dedo gordo
Tendón del extensor corto del dedo gordo
Expansión de los extensores
Peroneo corto
Retináculo superior de los músculos extensores
Maléolo lateral del peroné
Retináculo inferior de los músculos extensores
Tendones del extensor largo de los dedos
Interóseos dorsales
Tendones del extensor corto de los dedos
Maléolo medial de la tibia
Tendón del tibial anterior
Tendón del extensor largo del dedo gordo
Abductor del dedo gordo
Tendón del extensor corto del dedo gordo
Expansión de los extensores

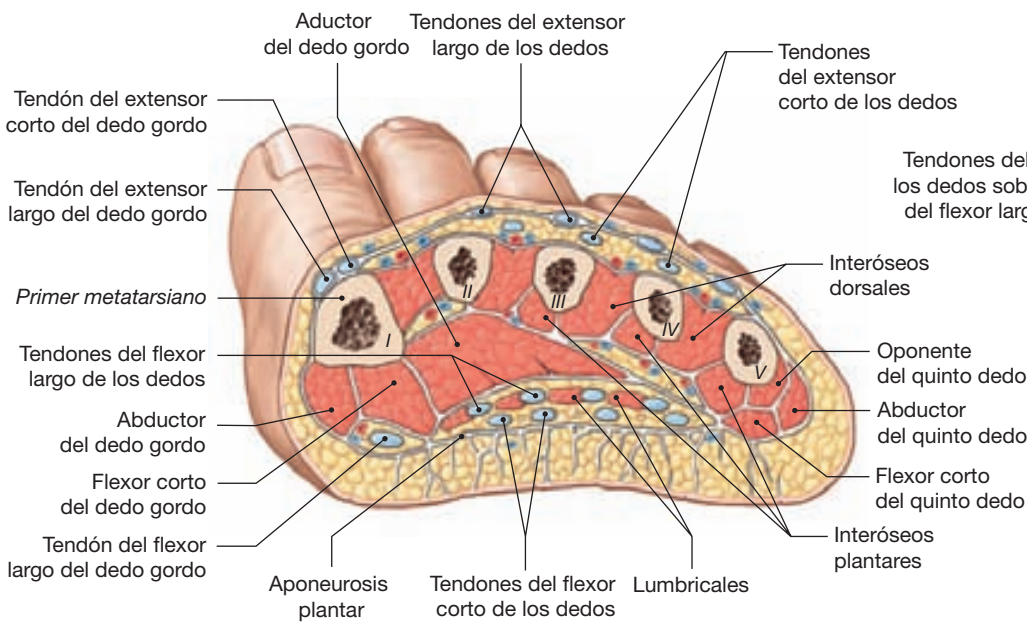
(a) Vista dorsal


Origen
Inserción
Tendón calcáneo (para la fijación del gastrocnemio y el sóleo)
Extensor corto de los dedos
Peroneo corto
Interóseos dorsales
Extensor corto de los dedos
Extensor largo de los dedos
Extensor corto del dedo gordo
Extensor largo del dedo gordo
Vista dorsal
Flexor largo de los dedos
Flexor corto de los dedos
Abductor del quinto dedo
Interóseos plantares
Aductor del dedo gordo
Flexor corto del quinto dedo
Flexor corto del dedo gordo
Cuadrado plantar
Abductor del quinto dedo
Flexor largo del dedo gordo
Abductor del dedo gordo y flexor corto del dedo gordo
Peroneo largo
Tibial anterior
Tibial posterior
Abductor del dedo gordo
Flexor corto de los dedos
Vista plantar

(b) Orígenes e inserciones

Figura 11.21 Músculos intrínsecos que mueven el pie y los dedos

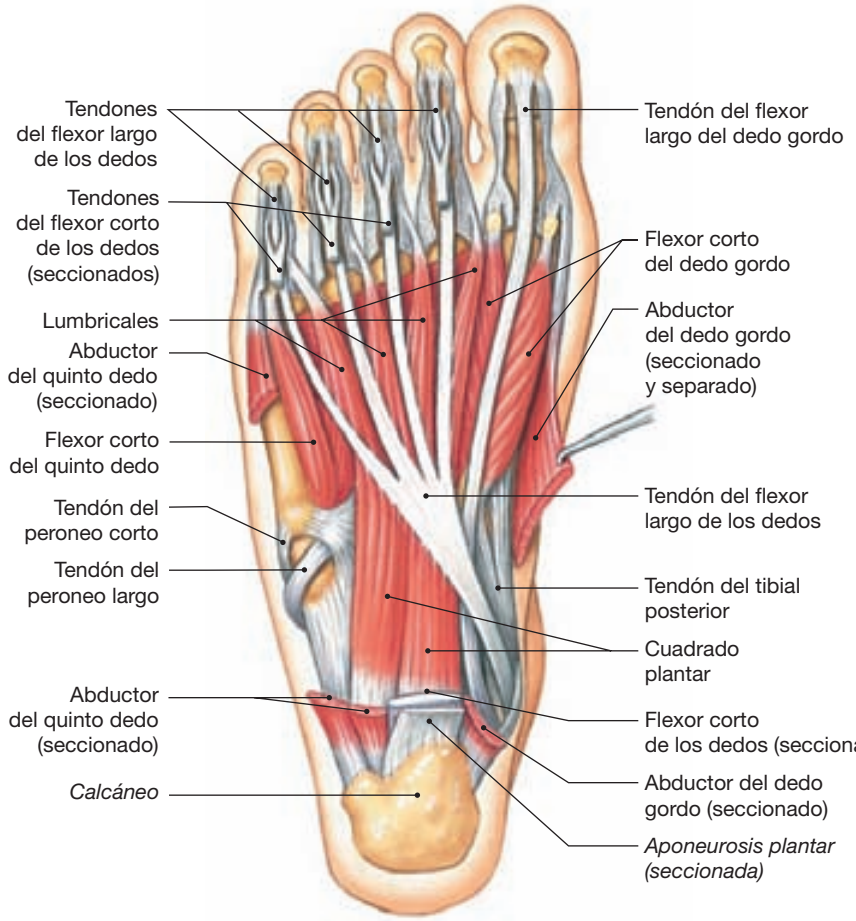
(a) Vistas dorsales del pie derecho. **(b)** Vistas dorsal (superior) y plantar (inferior) de los huesos del pie derecho, que muestran el origen y la inserción de determinados músculos. **(c)** Pie derecho, vista de un corte que pasa a través de los metatarsianos. **(d)** Vista plantar (inferior), capa superficial del pie derecho. **(e)** Vista plantar (inferior), capa profunda del pie derecho. **(f)** Vista plantar (inferior), capa más profunda del pie derecho.



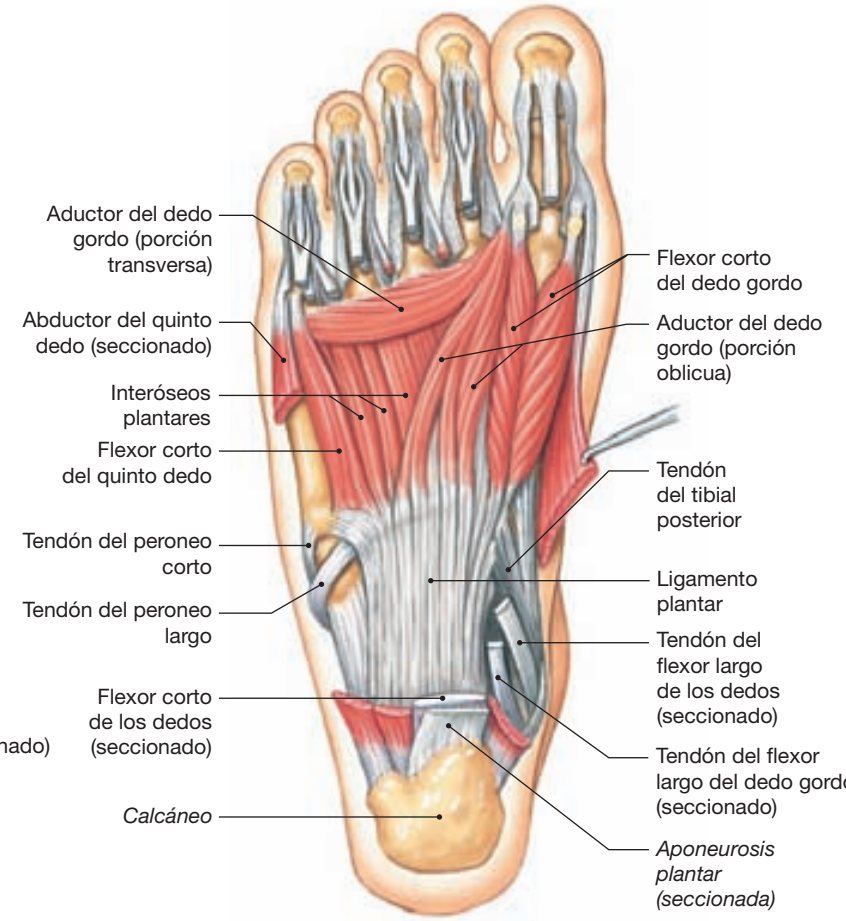
(c) Pie derecho, vista de un corte a través de los metatarsianos

Lumbricales
Vainas tendinosas fibrosas
Tendones del flexor corto de los dedos sobre los tendones del flexor largo de los dedos
Flexor corto del dedo gordo
Flexor corto del quinto dedo
Abductor del dedo gordo
Abductor del quinto dedo
Flexor corto de los dedos
Aponeurosis plantar (seccionada)
Calcáneo

(d) Vista plantar, capa superficial


Tendones del flexor largo de los dedos
Tendón del flexor largo del dedo gordo
Tendones del flexor corto de los dedos (seccionados)
Flexor corto del dedo gordo
Lumbricales
Abductor del dedo gordo (seccionado y separado)
Abductor del quinto dedo (seccionado)
Flexor corto del quinto dedo
Tendón del flexor largo de los dedos
Tendón del peroneo corto
Tendón del peroneo largo
Tendón del tibial posterior
Cuadrado plantar
Abductor del quinto dedo (seccionado)
Flexor corto de los dedos (seccionado)
Calcáneo
Abductor del dedo gordo (seccionado)
Aponeurosis plantar (seccionada)

(e) Vista plantar, capa profunda


Aductor del dedo gordo (porción transversa)
Flexor corto del dedo gordo
Abductor del quinto dedo (seccionado)
Aductor del dedo gordo (porción oblicua)
Interóseos plantares
Flexor corto del quinto dedo
Tendón del tibial posterior
Tendón del peroneo corto
Ligamento plantar
Tendón del peroneo largo
Tendón del flexor largo de los dedos (seccionado)
Flexor corto de los dedos (seccionado)
Tendón del flexor largo del dedo gordo (seccionado)
Calcáneo
Aponeurosis plantar (seccionada)

(f) Vista plantar, capa más profunda

Figura 11.21 ***(cont.)***

TABLA 11.9 Músculos intrínsecos del pie

Músculo	Origen	Inserción	Acción	Inervación
Extensor corto de los dedos	Calcáneo (caras superior y lateral)	Cara dorsal de los dedos 1-4	Extensión de las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos 1-4	Nervio peroneo profundo (S_1, S_2)
Abductor del dedo gordo	Calcáneo (tuberosidad en la cara inferior)	Lado medial de la falange proximal del dedo gordo	Abducción de la articulación metatarsofalángica del dedo gordo	Nervio plantar medial (S_2, S_3)
Flexor corto de los dedos	Igual que arriba	Lados de las falanges medias de los dedos 2-5	Flexión de las articulaciones interfalángicas proximales de los dedos 2-5	Igual que arriba
Abductor del quinto dedo	Igual que arriba	Lado lateral de la falange proximal del dedo 5	Abducción y flexión de la articulación metatarsofalángica del dedo 5	Nervio plantar lateral (S_2, S_3)
Cuadrado plantar	Calcáneo (caras medial e inferior)	Tendón del flexor largo de los dedos	Flexión de las articulaciones de los dedos 2-5	Igual que arriba
Lumbricales (4)	Tendones del flexor largo de los dedos	Inserciones del extensor largo de los dedos	Flexión de las articulaciones metatarsofalángicas; extensión de las articulaciones interfalángicas de los dedos 2-5	Nervio plantar medial (1) y nervio plantar lateral (2-4)
Flexor corto del dedo gordo	Cuboides y cuneiforme lateral	Falange proximal del dedo gordo	Flexión de la articulación metatarsofalángica del dedo gordo	Nervio plantar medial (L_4-S_5)
Aductor del dedo gordo	Base de los metatarsianos II-IV y ligamentos plantares	Igual que arriba	Aducción y flexión de la articulación metatarsofalángica del dedo gordo	Nervio plantar lateral (S_1-S_2)
Flexor corto del quinto dedo	Base del metatarsiano V	Lado lateral de la falange proximal del dedo 5	Flexión de la articulación metatarsofalángica del dedo 5	Igual que arriba
Interóseos dorsales (4)	Lados de los metatarsianos	Lados medial y lateral del dedo 2; lado lateral de los dedos 3 y 4	Abducción de las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos 3 y 4; flexión de las articulaciones metatarsofalángicas y extensión de las articulaciones interfalángicas de los dedos 2 a 4	Igual que arriba
Interóseos plantares (3)	Base y lado medial de los metatarsianos	Lado medial de los dedos 3-5	Aducción de las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos 3-5; flexión de las articulaciones metatarsofalángicas y extensión de las articulaciones interfalángicas	Igual que arriba

Fascia, capas musculares y compartimentos

El capítulo 3 presentó las diversas clases de fascias que hay en el cuerpo y el modo en que estas capas de tejido conjuntivo denso suministran un armazón estructural a los tejidos blandos del organismo [p. 74]. Hay tres tipos básicos de fascias: 1) la *fascia superficial,* una capa de tejido areolar profunda a la piel; 2) la *fascia profunda,* una capa fibrosa densa unida a las cápsulas, los periostios, los epimisios y otras vainas fibrosas que rodean a los órganos internos, y 3) la *fascia subserosa,* una capa de tejido areolar que separa a cualquier serosa de las estructuras adyacentes.

Las fibras de tejido conjuntivo de las fascias profundas sostienen a los músculos estriados contiguos y los conectan entre sí, a la vez que permiten su movimiento independiente. Por regla general, cuanto más parecidos sean dos músculos vecinos en lo que atañe a su orientación, acción y amplitud de movimientos, más profundamente interconectados estarán por la fascia profunda. Esto puede complicar mucho su separación en una disección. Si sus orientaciones o sus acciones difieren, esta conexión será menos estricta y resultarán más fáciles de separar mediante disección.

Sin embargo, en las extremidades la situación se complica por el hecho de que los músculos están unidos por una envoltura alrededor de los huesos, y las interconexiones entre la fascia superficial, la fascia profunda y los periostios son bastante fuertes. La fascia profunda se extiende entre los huesos y la fascia superficial, y separa los tejidos blandos de cada miembro en unos **compartimentos** independientes.

Compartimentos de la extremidad superior

[v. figuras 11.22/11.23 y tabla 11.10]

La fascia profunda del brazo crea un **compartimento anterior,** o *compartimento flexor,* y un **compartimento posterior,** o *compartimento extensor* (**v. figuras 11.22** y **11.23**). Los músculos bíceps braquial, coracobraquial y braquial están en el compartimento anterior; el músculo tríceps braquial llena el compartimento posterior. Los principales vasos sanguíneos, linfáticos y nervios de ambos compartimentos llevan su recorrido por los límites entre ellos.

La separación entre los compartimentos anterior y posterior se vuelve más pronunciada cuando la fascia profunda forma vainas fibrosas gruesas, los **tabiques intermusculares lateral** y **medial** (**v. figura 11.23a,b**). El tabique intermuscular lateral sigue la cara lateral del cuerpo del húmero desde el epicóndilo lateral hasta la tuberosidad deltoidea. El tabique intermuscular medial es un poco más corto, y va por la cara medial del cuerpo del húmero desde el epicóndilo medial hasta la inserción del músculo coracobraquial (**v. figura 11.23e**).

La fascia profunda y la membrana interósea del antebrazo dividen el antebrazo en un **compartimento superficial,** un **compartimento profundo** y un **compartimento extensor** (**v. figuras 11.22** y **11.23c,d,e**). Otros tabiques más pequeños vuelven a subdividir estos compartimentos mediante fascias, y separan grupos musculares que cumplen funciones diferentes. Los componentes de los compartimentos de la extremidad superior aparecen recogidos en la tabla 11.10.

Nota clínica

Síndrome compartimental Los vasos sanguíneos y los nervios dirigidos hacia cada músculo específico de la extremidad penetran y se ramifican dentro de los compartimentos musculares correspondientes (v. figuras 11.22 y 11.23). Cuando se produce un traumatismo por aplastamiento, una contusión fuerte o una distensión, pueden dañarse los vasos sanguíneos de un compartimento o de varios. Al verse afectados, estos compartimentos se hinchan debido al tejido, al líquido y a la sangre que haya salido de los vasos lesionados. Como los tabiques de tejido conjuntivo son muy resistentes, el líquido acumulado no puede escapar, y sube la presión en su interior. A la larga, las presiones compartimentales pueden llegar tan lejos como para comprimir los vasos sanguíneos regionales y eliminar el aporte circulatorio a los músculos y los nervios del compartimento. Esta compresión produce una situación de **isquemia,** o «privación de sangre», llamada **síndrome compartimental.** El corte del compartimento a lo largo de su eje longitudinal o la implantación de un drenaje son medidas de emergencia utilizadas para descargar la presión. Si no se dan estos pasos, los contenidos del compartimento sufrirán una grave alteración. Los nervios de la zona en cuestión quedarán destruidos pasadas 2-4 horas de isquemia, aunque puedan regenerarse hasta cierto punto si la circulación se restablece. Llegados a las 6 horas de tiempo, también desaparecerá el tejido muscular y no habrá ninguna regeneración. Los músculos quedarán sustituidos por tejido cicatricial, y el acortamiento de las fibras de tejido conjuntivo puede desembocar en una *contractura,* una reducción permanente de la longitud muscular.

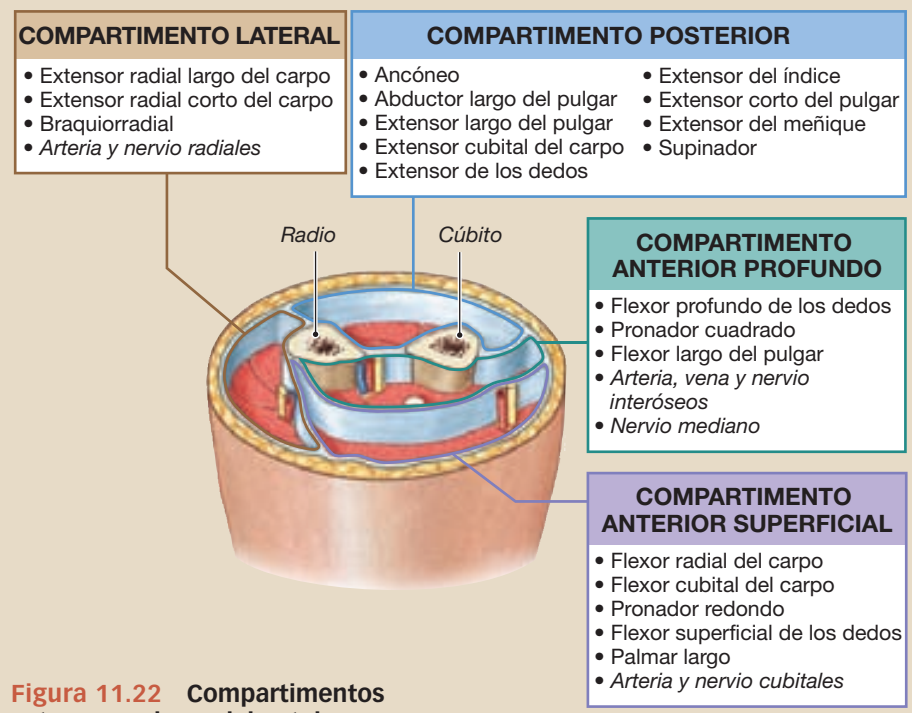


Figura 11.22 Compartimentos osteomusculares del antebrazo
Disposición tridimensional de los tabiques y las fascias que forman un límite en el antebrazo derecho.

TABLA 11.10 Compartimentos de la extremidad superior

Compartimentos	Músculos	Vasos sanguíneos*,†	Nervios‡
BRAZO			
Compartimento anterior	Bíceps braquial Braquial Coracobraquial	Arteria braquial Arteria colateral cubital inferior Arteria colateral cubital superior Venas braquiales	Nervio mediano Nervio musculocutáneo Nervio cubital
Compartimento posterior	Tríceps braquial	Arteria braquial profunda	Nervio radial
ANTEBRAZO			
Compartimento anterior			
Superficial	Flexor radial del carpo Flexor cubital del carpo Flexor superficial de los dedos Palmar largo Pronador redondo	Arteria radial Arteria cubital	Nervio mediano Nervio cubital
Profundo	Flexor profundo de los dedos Flexor largo del pulgar Pronador cuadrado	Arteria interósea anterior Rama anterior de la arteria recurrente cubital Rama posterior de la arteria recurrente cubital	Nervio interóseo anterior Nervio cubital Nervio mediano
Compartimento lateral§	Braquiorradial Extensor radial corto del carpo Extensor radial largo del carpo	Arteria radial	Nervio radial
Compartimento posterior	Abductor largo del pulgar Ancóneo Extensor cubital del carpo Extensor de los dedos Extensor del meñique Extensor del índice Extensor corto del pulgar Extensor largo del pulgar Supinador	Arteria interósea posterior Rama posterior de la arteria recurrente cubital	Nervio interóseo posterior

*No están recogidos los vasos cutáneos. †Sólo se mencionan los vasos grandes con nombre propio. ‡No se enumeran los nervios cutáneos. §Contiene el grupo de músculos que a veces se denomina radial o anteroexterno.

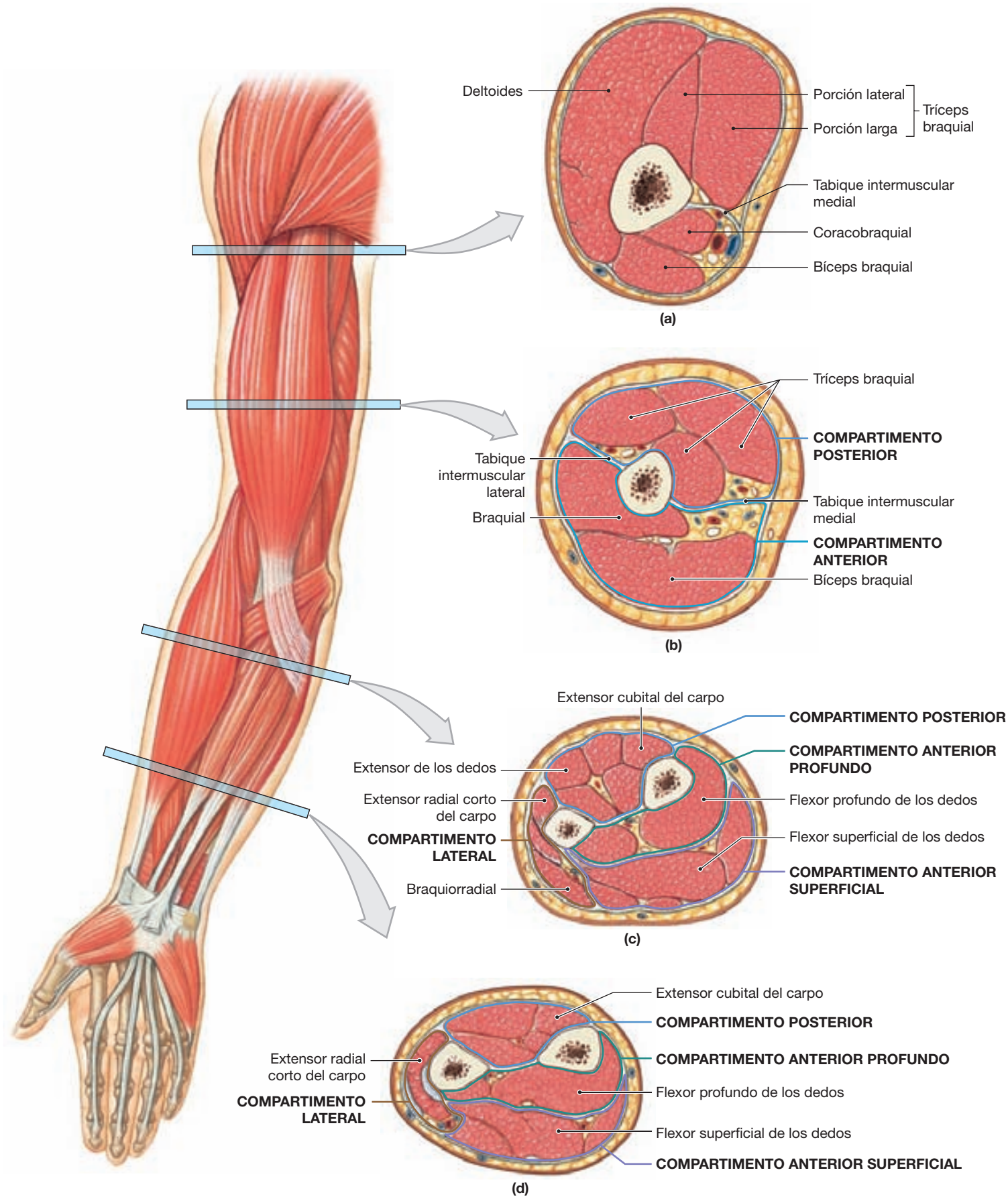
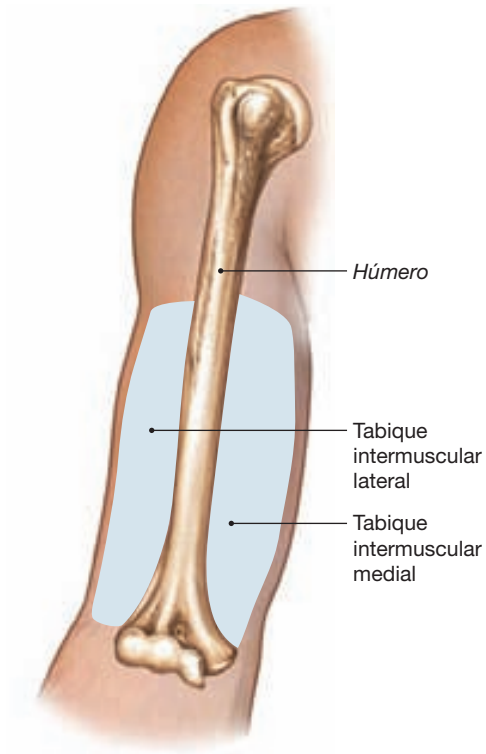


Figura 11.23 Compartimentos osteomusculares de la extremidad superior

(a), (b) Cortes horizontales esquemáticos a través de las porciones proximal y distal del brazo derecho, que muestran determinados músculos. **(c), (d)** Cortes horizontales esquemáticos a través de las porciones proximal y distal del antebrazo derecho, que muestran determinados músculos. **(e)** Vista anterior del húmero que muestra la localización de los tabiques intermusculares medial y lateral.

Figura 11.23 *(cont.)*



(e)

Compartimentos de la extremidad inferior

[v. figura 11.24 y tabla 11.11]

El muslo contiene los **tabiques intermusculares medial** y **lateral** que salen desde el fémur, así como varias divisiones formadas por fascias más pequeñas que separan los grupos musculares adyacentes. En general, en el muslo pueden distinguirse los **compartimentos anterior, posterior** y **medial** (v. figura 11.24a,b). El compartimento anterior contiene el tensor de la fascia lata, el sartorio y el grupo del cuádriceps. El posterior lleva los isquiotibiales y el medial el grácil, el pectíneo, el obturador externo, el aductor largo, el aductor corto y el aductor mayor (v. tabla 11.11).

La tibia y el peroné, la membrana interósea de la pierna y los tabiques crean cuatro compartimentos fundamentales en la pierna: un **compartimento anterior,** un **compartimento lateral** y los **compartimentos posteriores superficial** y **profundo** (v. figura 11.24c,d). El compartimento anterior contiene los músculos que efectúan la flexión dorsal del tobillo, la extensión de los dedos y la inversión/eversión del tobillo. Los del compartimento lateral se encargan de la eversión y la flexión plantar del tobillo. Los superficiales del compartimento posterior hacen la flexión plantar del tobillo, mientras que los del compartimento posterior profundo suman a eso sus acciones específicas sobre las articulaciones del pie y de los dedos. En la tabla 11.11 aparecen recogidos los músculos más otras estructuras presentes en estos compartimentos.

TABLA 11.11 Compartimentos de la extremidad inferior

Compartimentos	Músculos	Vasos sanguíneos	Nervios
MUSLO			
Compartimento anterior	Iliopsoas Ilíaco Psoas mayor Psoas menor Cuádriceps femoral Recto femoral Vasto intermedio Vasto lateral Vasto medial Sartorio	Arteria femoral Vena femoral Arteria femoral profunda Arteria circunfleja femoral lateral	Nervio femoral Nervio safeno
Compartimento medial	Pectíneo Aductor corto Aductor largo Aductor mayor Grácil Obturador externo	Arteria obturatriz Vena obturatriz Arteria femoral profunda Vena femoral profunda	Nervio obturador
Compartimento posterior	Bíceps femoral Semimembranoso Semitendinoso	Arteria femoral profunda Vena femoral profunda	Nervio ciático
PIERNA			
Compartimento anterior	Extensor largo de los dedos Extensor largo del dedo gordo Tercer peroneo Tibial anterior	Arteria tibial anterior Vena tibial anterior	Nervio peroneo profundo
Compartimento lateral	Peroneo corto Peroneo largo		Nervio peroneo superficial
Compartimento posterior			
Superficial	Gastrocnemio Plantar Sóleo		
Profundo	Flexor largo de los dedos Flexor largo del dedo gordo Poplíteo Tibial posterior	Arteria tibial posterior Arteria peronea Vena peronea Vena tibial posterior	Nervio tibial

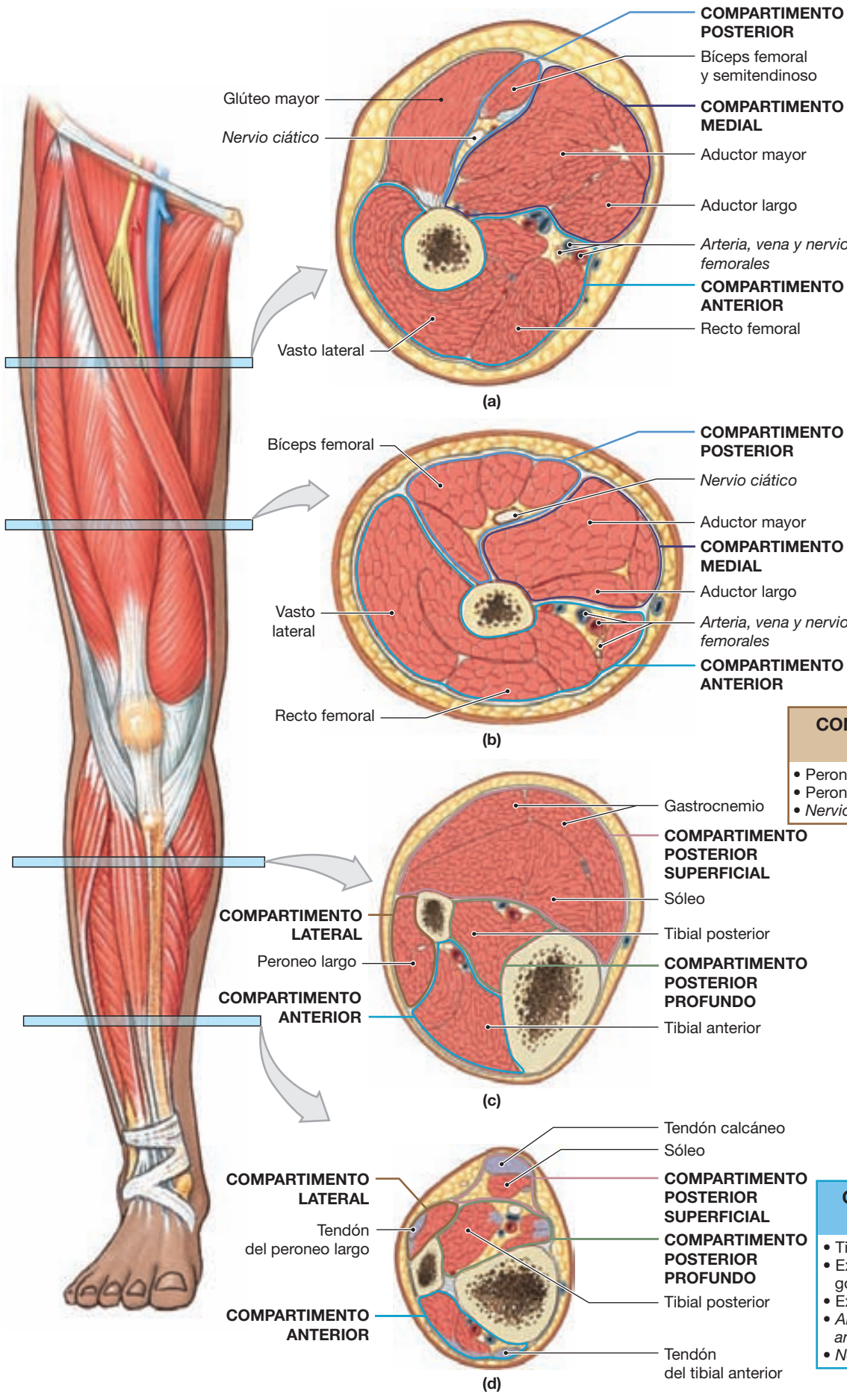


Figura 11.24 Compartimentos osteomusculares de la extremidad inferior

(a), (b) Cortes horizontales esquemáticos a través de las porciones proximal y distal del muslo derecho, que muestran determinados músculos. **(c), (d)** Cortes horizontales esquemáticos a través de las porciones proximal y distal de la pierna derecha, que muestran determinados músculos. **(e)** Vista anterior de la pierna que muestra los tabiques intermusculares y sus cuatro compartimentos.

Caso clínico

SISTEMA MUSCULAR

LA CADERA DE LA ABUELA

Llega el momento de realizar la visita semanal a su abuela de 75 años para dejarle los medicamentos de la semana venidera, y se para a verla en su apartamento. Al subir, la encuentra tumbada boca arriba con un dolor intenso. Está confusa y no le reconoce cuando entra en su habitación. Además, tampoco es capaz de contarle cómo pudo acabar postrada en el suelo.

Intenta ayudarla a levantarse, pero al instante se queja de un dolor pronunciado en la zona inguinal. Avisa al 112 y mandan una ambulancia. Tras la valoración inicial del auxiliar sanitario y después de pasarla a la camilla, anotan que la extremidad inferior derecha se encuentra en posición de rotación lateral y apreciablemente más corta que la izquierda. El residente que la recibe realiza su primera evaluación en el momento de ingresarla al SU.

Exploración inicial

El residente efectúa la valoración inicial de su abuela y anota lo siguiente:

- La extremidad inferior derecha está apreciablemente más corta que la izquierda.
- El muslo derecho aparece en rotación externa, y la paciente es incapaz de cambiar su posición sin experimentar un dolor considerable.
- A la palpación, la región inguinal está hipersensible, pero sin presentar una hinchazón evidente.
- El movimiento pasivo de la cadera ocasiona un dolor extremo, sobre todo en la rotación externa e interna.
- La cifra de leucocitos es de 20.000 por mm^3.
- La hemoglobina (Hb) es de 9,8 g/dL.
- Aunque está confusa, su abuela insiste repetidas veces en que permaneció tumbada en el suelo de su apartamento un buen rato antes de que la encontraran.

El residente está preocupado de que el lapso de tiempo transcurrido entre la lesión y su descubrimiento y transporte al hospital pueda haber ocasionado complicaciones. Por este motivo, no tiene claro cómo plantear el tratamiento. Administra un analgésico para favorecer el bienestar de su abuela y después pide una interconsulta con el cirujano ortopédico de guardia.

Nada más llegar el cirujano ortopédico responsable, sugiere la reposición de líquidos intravenosos para aliviar la deshidratación producida por el tiempo pasado entre la lesión y su descubrimiento. Cuando los líquidos y los electrólitos recuperan su equilibrio, su abuela le comunica al médico que tropezó con la manta cubrecama del apartamento 2 días antes de que la encontrara, y que no había logrado arrastrarse hasta el teléfono para pedir ayuda.

Además, el cirujano ortopédico confirma los datos que han sido recopilados en la exploración física del residente. En el mismo momento solicita que se realicen unas radiografías anteroposterior y lateral de la región de la cadera.

Exploración de seguimiento

Tras la exploración, el cirujano ortopédico anota lo siguiente:

- La paciente aparentemente se encuentra en un estado nutricional bastante malo.
- Al principio parecía sufrir una confusión mental, pero la reposición hidroelectrolítica IV provocó una apreciable mejoría de su situación.
- La extremidad inferior derecha se encuentra en rotación externa y la paciente es incapaz de levantar el talón derecho de la camilla.
- La extremidad inferior derecha es más corta, lo que se confirma al medir la distancia que hay entre la espina ilíaca anterosuperior y el extremo distal del maléolo medial de la tibia, y comparar los resultados con los del otro lado (tras su rotación pasiva por el cirujano).
- El trocánter mayor del lado derecho también da la impresión de estar más alto y más saliente que el del lado izquierdo.
- La palpación muestra una hipersensibilidad en el triángulo femoral sobre la superficie anterior de la articulación de la cadera.

Puntos de interés

Cuando examine la información presentada en el caso descrito, repase el contenido tratado en los capítulos 5 a 11 y determine qué información anatómica le permitirá diagnosticar, mediante los datos aportados, los problemas particulares de su abuela.

1. ¿Cuáles son las características anatómicas de los huesos de la extremidad inferior?
2. ¿Qué detalles anatómicos se mencionan en el problema? ¿Dónde los encontraría en el caso de los huesos coxales, el fémur y la tibia?
3. ¿Cuáles son las características anatómicas de la articulación de la cadera?
4. La extremidad inferior de la paciente está en rotación externa y es incapaz de levantar de la camilla el talón derecho. Esta situación, ¿depende de los músculos de la cabeza y del tronco o de los de las extremidades? ¿Qué músculos específicos participarían en la rotación externa de la cadera? ¿Cuáles lo harían en la flexión?

Análisis e interpretación

1. Las características anatómicas de los huesos de la extremidad inferior pueden consultarse en el capítulo 7 [pp. 193-198].
2. En este problema, se mencionan los siguientes detalles anatómicos:
   - Ingle.
   - Espina ilíaca anterosuperior.
   - Extremo distal del maléolo medial de la tibia.
   - Trocánter mayor del fémur.

   Estos detalles pueden consultarse en el capítulo 7 [pp. 188-197].
3. Las características anatómicas de la articulación de la cadera pueden consultarse en el capítulo 8 [pp. 223-225].
4. Los músculos que se encargan de colocar la extremidad inferior de su abuela en posición pertenecerían todos a las extremidades. Los que toman parte en la rotación externa (lateral) y en la flexión de la cadera pueden consultarse en la tabla 11.6 de la p. 304.

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

reposición hidroelectrolítica IV: Administración intravenosa de un líquido isotónico para suprimir la deshidratación y devolver las concentraciones plasmáticas de sodio, calcio y potasio a sus niveles fisiológicos normales.

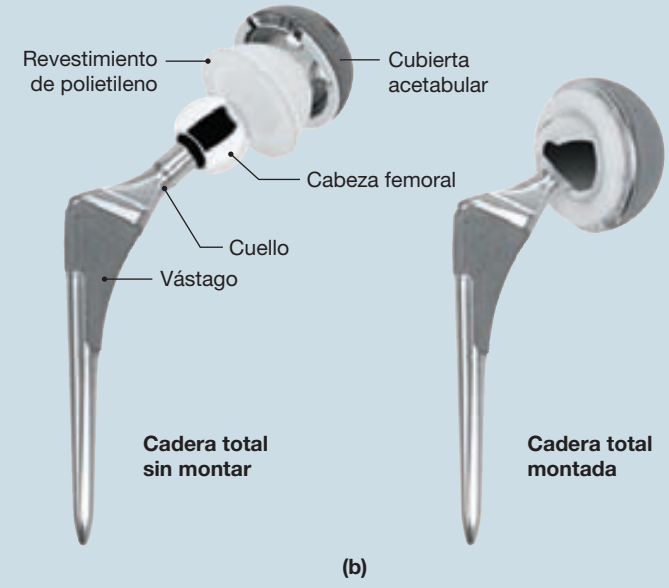
Casoc línico *(cont.)*

Diagnóstico

Su abuela tiene 75 años, y el esqueleto está experimentando varios cambios anatómicos a raíz del proceso de envejecimiento [pp. 125-126]. El problema que ha sufrido es una fractura subcapital desplazada del fémur. El ángulo que forma la cabeza con el cuello del fémur es menor, y el cuello y el cuerpo están en rotación externa. Los huesos de la pelvis y el fémur padecen una notable osteoporosis con una gran probabilidad [p. 128]. Esta situación aumenta el riesgo de fractura en las personas mayores, y también alarga el tiempo requerido para su reparación [pp. 124-126].

La posición adoptada por la extremidad inferior de su abuela se debe a la tensión de los rotadores externos (músculos piriforme, gemelos superior e inferior y obturador externo) [pp. 302-305]. La extremidad inferior derecha está más corta que la izquierda por las razones siguientes: a) la fractura de la cadera, y b) la contracción de los flexores y los extensores de esa articulación (v. tabla 11.6, p. 304). Probablemente, será necesario operarla. Aunque pueden utilizarse varias técnicas, un procedimiento habitual es la extirpación de la cabeza del fémur [pp. 193-197] y su sustitución por una prótesis. La prótesis elegida reemplazaría a la cabeza del fémur y además llevaría un vástago largo que se introduciría en la cavidad medular del hueso y llegaría casi hasta la mitad del cuerpo femoral para fijar la cabeza en su sitio (**v. figura 11.25**). El vástago de la prótesis está perforado por unos agujeros en su diseño, donde se meterán trozos de hueso esponjoso [pp. 113-117] que sirvan como injerto óseo. Otro método seguido a menudo es la cementación de la prótesis en su mismo lugar, lo que resultaría más factible en el caso de su abuela, teniendo en cuenta su avanzada edad y su bajo nivel de actividad. ■

(a)



(b)

Figura 11.25 Radiografía de la cadera tras la operación
(a) Radiografía de una persona con una prótesis de cadera tras su implantación quirúrgica. **(b)** Esquema de la prótesis de cadera.

TÉRMINOS CLÍNICOS

bursitis: Inflamación de las bolsas que rodean a una articulación o a varias.

calambres musculares: Contracciones musculares prolongadas, involuntarias y dolorosas.

contusión ósea: Hemorragia en el interior del periostio de un hueso.

distensiones: Desgarros o roturas de los músculos.

esguinces: Desgarros o roturas de los ligamentos o los tendones.

fractura subcapital desplazada: Lesión que conlleva la fractura de un hueso por debajo de su cabeza, y la luxación simultánea del hueso fracturado en una articulación.

fracturas por sobrecarga: Fisuras o roturas de los huesos sometidos a esfuerzos o traumatismos repetidos.

isquemia: Situación de «privación de sangre» que obedece a la compresión de los vasos sanguíneos regionales.

manguito de los rotadores: Músculos que rodean la articulación del hombro; lugar frecuente de los traumatismos deportivos.

síndrome compartimental: Isquemia resultante de la sangre y el líquido acumulados y retenidos en un compartimento osteomuscular.

síndrome del túnel carpiano: Inflamación de la vaina que rodea a los tendones flexores de la palma de la mano.

tendinitis: Inflamación del tejido conjuntivo que rodea a un tendón.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 285

1. La **musculatura de las extremidades** es responsable de estabilizar las cinturas escapular y pélvica, y de mover las extremidades superiores e inferiores.

Factores que influyen sobre la función de los músculos de las extremidades 285

1. Un músculo del esqueleto de las extremidades puede cruzar una articulación o más entre su origen y su inserción. La posición que adopte a su paso por ella servirá para determinar la acción que cumpla *(v. figura 11.1)*.
2. Muchas acciones complejas implican más de una articulación del esqueleto de las extremidades. Los músculos que sólo cruzan una actúan de forma específica como músculos principales, mientras que los que atraviesan más de una serán los sinérgicos.

Músculos de la cintura escapular y de las extremidades superiores 285

1. Cuatro grupos de músculos están asociados a la cintura escapular y a la extremidad superior: 1) *músculos que colocan la cintura escapular en posición;* 2) *músculos que mueven el brazo;* 3) *músculos que mueven el antebrazo y la mano,* y 4) *músculos que mueven la mano y los dedos.*

Músculos que colocan la cintura escapular en posición 286

2. Los **músculos trapecios** cubren la espalda y una porción del cuello, llegando hasta la base del cráneo. Este músculo influye sobre la posición de la cintura escapular (hombro), la cabeza y el cuello *(v. figuras 11.2 a 11.5 y tabla 11.1)*.
3. En un plano profundo al trapecio, los **músculos romboides** realizan la aducción de la escápula, y el **músculo elevador de la escápula** asciende este hueso. Ambos se insertan en la escápula *(v. figuras 11.2 a 11.5 y tabla 11.1)*.
4. El **músculo serrato anterior,** que realiza la abducción de la escápula y un giro del hombro hacia adelante, se origina sobre las caras ventrosuperiores de varias costillas *(v. figuras 11.2 a 11.5 y tabla 11.1)*.
5. Dos músculos profundos del tórax nacen sobre la cara ventral de las costillas. Los **músculos subclavio** y **pectoral menor** descienden y protraen el hombro *(v. figuras 11.4/11.5 y tabla 11.1)*.

Músculos que mueven el brazo 288

6. La línea de acción de un músculo podría emplearse para pronosticar su acción. La *figura 11.7* muestra la posición de los músculos bíceps braquial, tríceps braquial y deltoides con respecto a la articulación del hombro; también resume las reglas utilizadas para predecir la acción de un músculo.
7. Los músculos que mueven el brazo se recuerdan mejor si se los reúne según sus acciones fundamentales.
8. Los músculos **deltoides** y **supraespinoso** producen la abducción del hombro. Los **músculos subescapular** y **redondo mayor** rotan el brazo en sentido medial, mientras que los **músculos infraespinoso** y **redondo menor** efectúan su rotación lateral. Al supraespinoso, infraespinoso, subescapular y redondo menor se les conoce como los músculos del **manguito de los rotadores.** El **músculo coracobraquial** produce la flexión y la aducción del hombro *(v. figuras 11.2/11.5/11.6 y tabla 11.2)*.
9. El **músculo pectoral mayor** flexiona el hombro, mientras que el **músculo dorsal ancho** lo extiende. Asimismo, ambos producen la aducción y la rotación medial del brazo *(v. figuras 11.2/11.5/11.6 y tabla 11.2)*.

Músculos que mueven el antebrazo y la mano 293

10. Las acciones fundamentales del **músculo bíceps braquial** y el **músculo tríceps braquial** *(porción larga)* afectan a la articulación del codo. El bíceps braquial flexiona el codo y supina el antebrazo, mientras que el tríceps braquial extiende el codo. Además, ambos ejercen unos efectos de carácter secundario sobre la cintura escapular.
11. Los **músculos braquial** y **braquiorradial** flexionan el codo. A esta acción se opone el **músculo ancóneo** y el **músculo tríceps braquial.** Los **músculos flexor cubital del carpo, flexor radial del carpo** y **palmar largo** son músculos superficiales del antebrazo que cooperan en la flexión de la muñeca. Además, el músculo flexor cubital del carpo realiza la aducción de la muñeca, mientras que el flexor radial del carpo efectúa su abducción. La extensión de la muñeca está a cargo del **músculo extensor radial del carpo,** que también produce su abducción, y del **músculo extensor cubital del carpo**, que hace su aducción. Los **músculos pronador redondo** y **pronador cuadrado** llevan a cabo la pronación del antebrazo sin flexión ni extensión del codo; contra esta acción se opone el **músculo supinador** *(v. figuras 11.5/11.6/11.8/11.9 y tabla 11.3)*.

Músculos que mueven la mano y los dedos 295

12. Los músculos extrínsecos de la mano ejercen un control elemental sobre los dedos y aportan solidez. Los músculos intrínsecos ofrecen el control fino de los dedos y de la mano.
13. Los músculos que realizan la flexión y la extensión de las articulaciones de los dedos están representados en las *figuras 11.8 a 11.11* y detallados en las *tablas 11.4/11.5.*

Músculos de la cintura pélvica y de las extremidades inferiores 302

1. Al igual que en nuestro análisis sobre los músculos del hombro (pp. 290-292), las relaciones entre las líneas de acción y el eje de la articulación de la cadera pueden utilizarse para pronosticar las acciones de los diversos músculos y grupos musculares *(v. figura 11.14)*.
2. Tres grupos de músculos están asociados a la pelvis y a las extremidades inferiores: 1) *músculos que mueven el muslo;* 2) *músculos que mueven la pierna,* y 3) *músculos que mueven el pie y los dedos.*

Músculos que mueven el muslo 302

3. Los músculos que se originan en la superficie de la pelvis y se insertan en el fémur producen unos movimientos característicos determinados por su posición con respecto al acetábulo *(v. figura 11.13 y tabla 11.6)*.
4. Los **músculos glúteos** cubren la cara lateral del ilion. El más grande es el **músculo glúteo mayor,** que produce la extensión y la rotación lateral de la cadera. Su inserción la comparte con el **músculo tensor de la fascia lata,** que ocasiona la flexión, la abducción y la rotación medial de la cadera. En conjunto, ambos músculos tiran del **tracto iliotibial** para ofrecer un refuerzo lateral a la rodilla *(v. figuras 11.2/11.5/11.13 a 11.17 y tabla 11.6)*.
5. Los **músculos piriforme** y **obturadores** son los rotadores laterales más importantes.
6. El **grupo aductor (músculos aductor mayor, aductor corto, aductor largo, pectíneo** y **grácil)** producen la aducción de la cadera. Por separado, pueden causar otros movimientos diversos, como la rotación medial o lateral y la flexión o la extensión de la cadera *(v. figuras 11.13 a 11.17 y tabla 11.6)*.
7. El **psoas mayor** y el **ilíaco** se fusionan para formar el **músculo iliopsoas,** un potente flexor de la cadera *(v. figuras 11.13/11.14 y tabla 11.6)*.

Músculos que mueven la pierna 307

8. Los *músculos extensores de la rodilla* se encuentran en las caras anterior y lateral del muslo; los músculos flexores se hallan a lo largo de las caras posterior y medial del muslo. Los flexores y los aductores se originan en la cintura pélvica, mientras que la mayoría de los extensores lo hacen en la superficie del fémur.
9. En conjunto, los *extensores de la rodilla* reciben el nombre de **cuádriceps femoral.** Este grupo incluye los **músculos vasto intermedio, vasto lateral** y **vasto medial** y el **músculo recto femoral** *(v. figuras 11.15/11.16 y tabla 11.7)*.
10. Los flexores de la rodilla son los **músculos bíceps femoral, semimembranoso** y **semitendinoso** (en conjunto, también producen la extensión de la cadera y reciben la denominación de «isquiotibiales»), y el **músculo sartorio.** El **músculo poplíteo** efectúa la rotación medial de la tibia (o la rotación lateral del fémur) para desbloquear la articulación de la rodilla *(v. figuras 11.16/11.17 y tabla 11.7)*.

Músculos que mueven el pie y los dedos 309

11. Los músculos extrínsecos e intrínsecos que mueven el pie y los dedos están representados en las *figuras 11.18 a 11.21* y enumerados en las *tablas 11.8 y 11.9.*
12. Los **músculos gastrocnemio** y **sóleo** producen la flexión plantar. El gran **músculo tibial anterior** se opone al gastrocnemio y lleva a cabo la flexión dorsal del tobillo. Los dos **músculos peroneos** ocasionan la eversión así como la flexión plantar *(v. figuras 11.19/11.20 y tabla 11.8)*.

13. Los músculos más pequeños de la pantorrilla y la espinilla colocan el pie en posición y mueven los dedos. El control preciso de las falanges lo facilitan unos músculos que se originan en los huesos del tarso y el metatarso *(v. figura 11.21 y tabla 11.9).*

Fascia, capas musculares y compartimentos 318

1. Además del criterio funcional utilizado en este capítulo, muchos anatomistas también estudian los músculos de las extremidades superior e inferior en grupos determinados por su posición dentro de **compartimentos.**

Compartimentos de la extremidad superior 318

2. El brazo tiene unos **compartimentos anterior** y **posterior;** el antebrazo tiene unos **compartimentos anterior, posterior** y **lateral** *(v. figuras 11.22/11.23 y tabla 11.10).*

Compartimentos de la extremidad inferior 321

3. El muslo tiene unos **compartimentos anterior, medial** y **posterior;** la pierna tiene unos **compartimentos anterior, posterior** y **lateral** *(v. figura 11.24 y tabla 11.11).*

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. músculos romboides	a. abducción de los dedos del pie
___ 2. dorsal ancho	b. flexión de la cadera y/o de la columna lumbar
___ 3. infraespinoso	c. aducción (retracción) de la escápula
___ 4. braquial	d. bandas de tejido conjuntivo
___ 5. supinador	e. flexión plantar del tobillo
___ 6. retináculo de los músculos flexores	f. origen: superficie del ilion
___ 7. músculos glúteos	g. flexión del codo
___ 8. ilíaco	h. flexión dorsal del tobillo e inversión del pie
___ 9. gastrocnemio	i. rotación lateral del húmero en el hombro
___ 10. tibial anterior	j. supinación del antebrazo
___ 11. interóseos	k. extensión, aducción y rotación medial del húmero en el hombro

12. Los extensores más potentes de la rodilla son:
(a) los isquiotibiales (b) el cuádriceps
(c) el iliopsoas (d) el tensor de la fascia lata

13. ¿Cuál de los siguientes músculos no pertenece al manguito de los rotadores?
(a) supraespinoso (b) subclavio
(c) subescapular (d) redondo menor

14. ¿Cuál de los siguientes músculos no se origina en el húmero?
(a) ancóneo (b) bíceps braquial
(c) braquial (d) tríceps braquial, porción lateral

15. ¿Cuál de los siguientes músculos es un flexor del codo?
(a) bíceps braquial (b) braquial
(c) braquiorradial (d) todos los anteriores

16. El músculo que ocasiona la oposición del pulgar es el:
(a) aductor del pulgar (b) extensor de los dedos
(c) abductor del pulgar (d) oponente del pulgar

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. La lesión del músculo pectoral mayor interferiría la capacidad de realizar la:
(a) extensión del codo
(b) abducción del húmero
(c) aducción del húmero
(d) elevación de la escápula

2. ¿Cuál de los siguientes músculos produce la abducción de la cadera?
(a) pectíneo
(b) psoas
(c) obturador interno
(d) piriforme

3. El tibial anterior es un flexor dorsal del pie. ¿Cuál de los siguientes músculos sería un antagonista de dicha acción?
(a) flexor largo de los dedos
(b) gastrocnemio
(c) flexor largo del dedo gordo
(d) todos los anteriores

4. Si se magulla el músculo glúteo mayor, cuenta con sentir molestias al efectuar:
(a) la flexión de la rodilla
(b) la extensión de la cadera
(c) la abducción de la cadera
(d) todas las anteriores

5. El bíceps braquial ejerce acciones sobre tres articulaciones. ¿Cuáles son y qué acciones realiza?

6. ¿Qué músculo mantiene la rodilla por su lado lateral y se hipertrofia mucho en los bailarines de ballet ante la necesidad de efectuar la flexión y abducción de la cadera?

7. Cuando un bailarín estira los músculos de la pierna al situar el talón sobre una barra, ¿qué grupos musculares se extienden?

8. ¿Cuál es la función de los músculos intrínsecos de la mano?

9. ¿Cuál es la acción sinérgica del músculo tensor de la fascia lata con el músculo glúteo mayor?

10. ¿Cuáles son las principales funciones de los retináculos de los músculos flexores y extensores de la muñeca y el tobillo?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Describa cómo funcionan los músculos de la mano cuando se sujeta un bolígrafo o un lápiz para escribir o dibujar.

2. Jugando al fútbol, Jerry sufre un tirón de los músculos isquiotibiales. A raíz de la lesión, experimenta problemas en la flexión y la rotación medial del muslo. ¿Qué músculo(s) del grupo isquiotibial se ha(n) lesionado con mayor probabilidad?

3. Al descargar el maletero del coche, Linda sufre un tirón muscular y, como consecuencia, tiene problemas para mover el brazo. El médico del servicio de urgencias le dice que sufrió una sobrecarga del músculo pectoral mayor. Linda comenta que creía que el pectoral mayor era un músculo torácico y no entiende qué tiene que ver con el brazo. ¿Qué le contestaría?

12

Anatomía de superficie y por cortes transversales

Introducción 328

Planteamiento regional de la anatomía de superficie 328

Anatomía por cortes transversales 336

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Definir la anatomía de superficie y describir su importancia en el contexto clínico.
2. Examinar la anatomía de superficie de la cabeza y el cuello por observación visual y palpación, tomando las fotos marcadas como referencia.
3. Examinar la anatomía de superficie del tórax por observación visual y palpación, tomando las fotos marcadas como referencia.
4. Examinar la anatomía de superficie del abdomen por observación visual y palpación, tomando las fotos marcadas como referencia.
5. Examinar la anatomía de superficie de la extremidad superior por observación visual y palpación, tomando las fotos marcadas como referencia.
6. Examinar la anatomía de superficie de la pelvis y la extremidad superior por observación visual y palpación, tomando las fotos marcadas como referencia.
7. Señalar la importancia de la anatomía por cortes transversales para la elaboración de una comprensión tridimensional de los conceptos anatómicos.
8. Visualizar la posición relativa y la orientación de las principales estructuras de la cabeza y el cuello, tomando los cortes transversales marcados como referencia.
9. Visualizar la posición relativa y la orientación de las principales estructuras de la cavidad torácica, tomando los cortes transversales marcados como referencia.
10. Visualizar la posición relativa y la orientación de las principales estructuras de la cavidad abdominal, tomando los cortes transversales marcados como referencia.
11. Visualizar la posición relativa y la orientación de las principales estructuras de la cavidad pélvica, tomando los cortes transversales marcados como referencia.

La primera parte de este capítulo centra su atención en las estructuras anatómicas que pueden identificarse desde la superficie del cuerpo. La **anatomía de superficie** es el estudio de los detalles anatómicos vistos desde el exterior del cuerpo humano. Las fotografías que se presentan exploran todo el cuerpo, y facilitan un recorrido visual que destaca las referencias óseas y los contornos musculares. El capítulo 1 ofreció una panorámica general sobre la cuestión [pp. 3, 14-15]. Una vez familiarizado con la anatomía básica de los sistemas óseo y muscular, el examen minucioso de la anatomía de superficie servirá para poner de manifiesto las relaciones estructurales y funcionales entre ellos. Muchas de las figuras contenidas en los capítulos anteriores llevaban imágenes de anatomía de superficie; a ellas se hará referencia a lo largo de este capítulo.

La anatomía de superficie tiene múltiples implicaciones prácticas. Por ejemplo, resulta decisivo entender esta materia para la realización de los reconocimientos médicos que suceden en el medio clínico. En el laboratorio, la familiaridad con el tema es fundamental para la aplicación de las técnicas, tanto invasivas como no invasivas.

Planteamiento regional de la anatomía de superficie

La anatomía de superficie se estudia mejor mediante un planteamiento regional. Las regiones son la *cabeza y el cuello,* el *tórax,* el *abdomen,* la *extremidad superior* y la *extremidad inferior.* Esta información se ofrece de forma gráfica, mediante fotografías del cuerpo humano vivo. Los modelos utilizados tienen músculos muy desarrollados y muy poca grasa corporal. Como muchos detalles anatómicos pueden quedar ocultos por una capa de panículo adiposo, tal vez no resulte tan sencillo localizar estas estructuras en su propio cuerpo. En la práctica, la observación anatómica suele entrañar un cálculo previo del lugar en cuestión más la palpación posterior de cada estructura específica. En los apartados siguientes, identifique la anatomía de superficie de las regiones corporales por observación visual y palpación, tomando las fotografías marcadas como referencia.

Cabeza y cuello [v. figura 12.1]

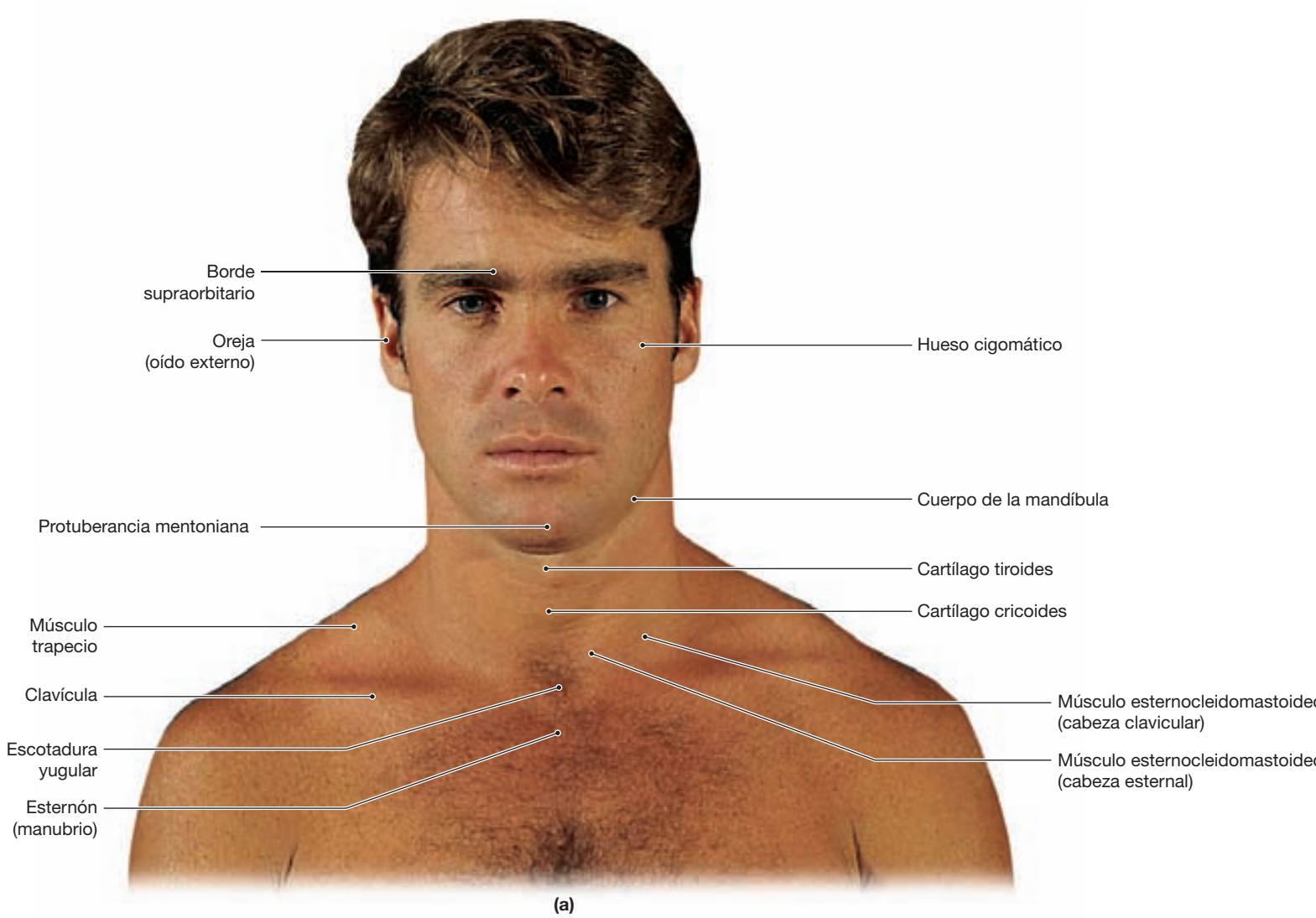


Figura 12.1 Cabeza y cuello

a) Vista anterior. *Para consultar los detalles referidos a la musculatura de esta región, véanse figuras 10.3 y 10.4, pp. 264-265.* El **triángulo cervical anterior** (partes b y c) ocupa desde la línea media anterior hasta el borde anterior del músculo esternocleidomastoideo. El **triángulo cervical posterior** (parte b) se extiende entre el borde posterior del esternocleidomastoideo y el borde anterior del trapecio.

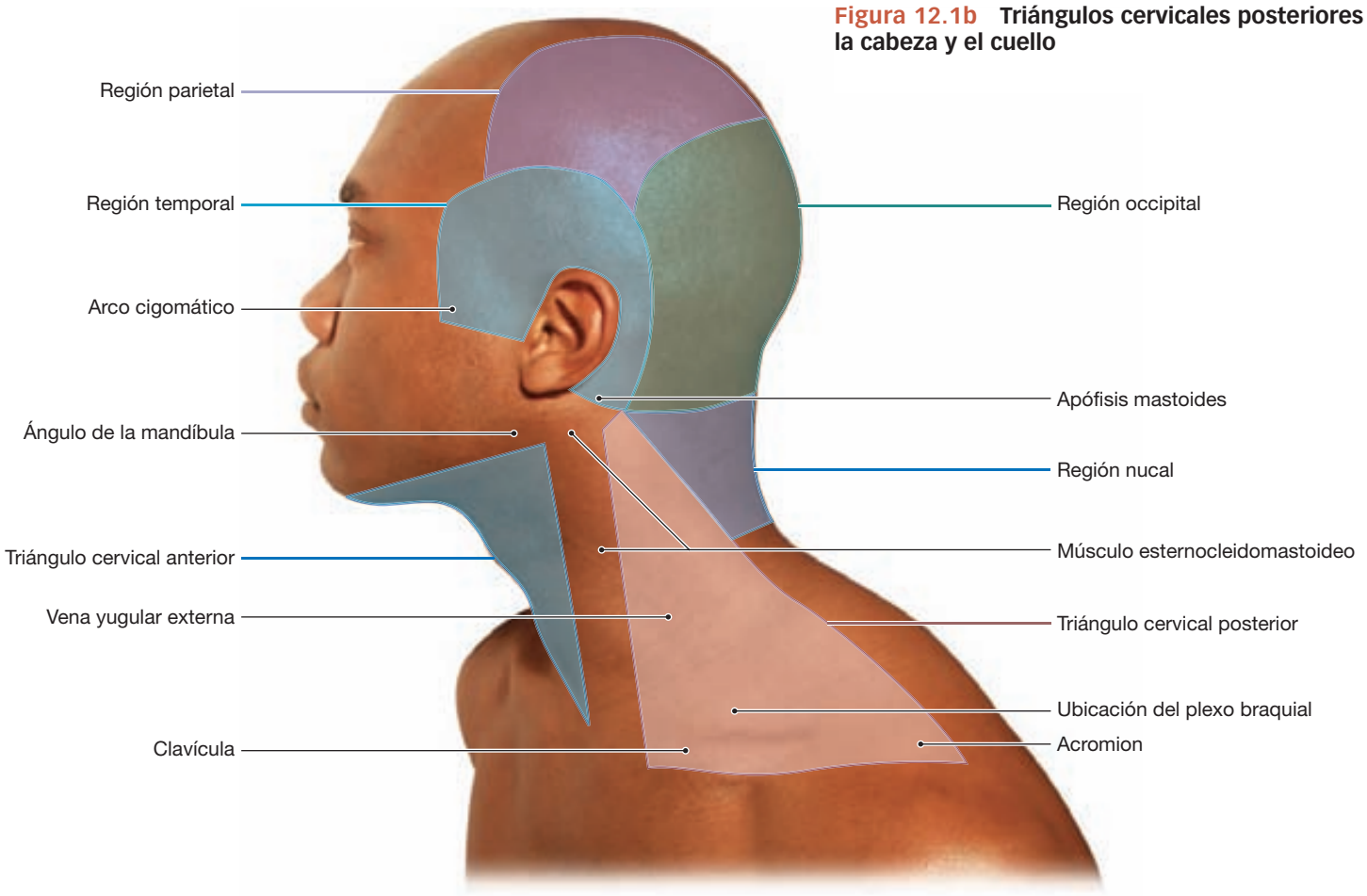


Figura 12.1b **Triángulos cervicales posteriores y grandes regiones de la cabeza y el cuello**

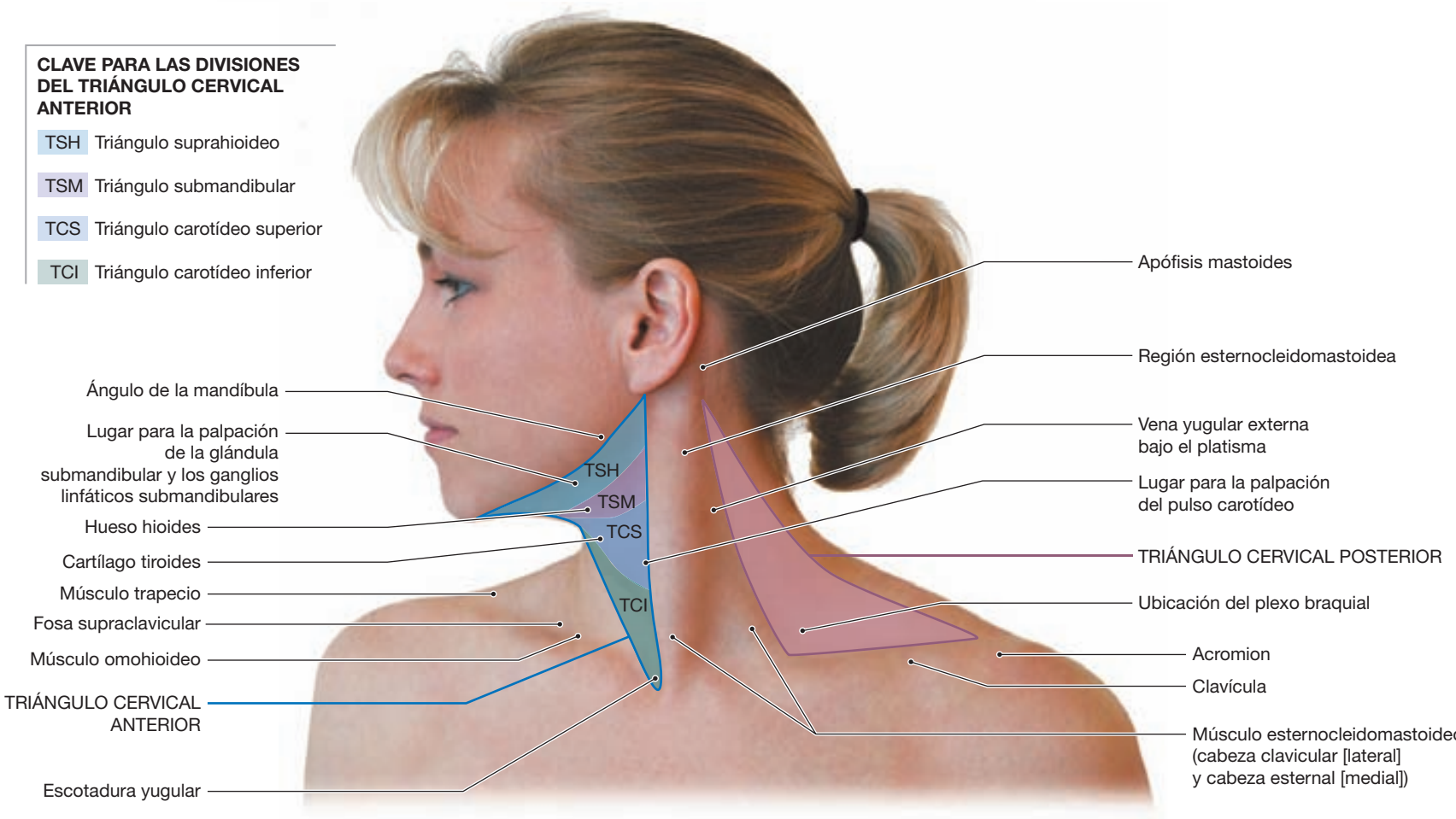


Figura 12.1c **Subdivisiones del triángulo cervical anterior**

Tórax [v. figura 12.2]

Figura 12.2a **Parte anterior del tórax**

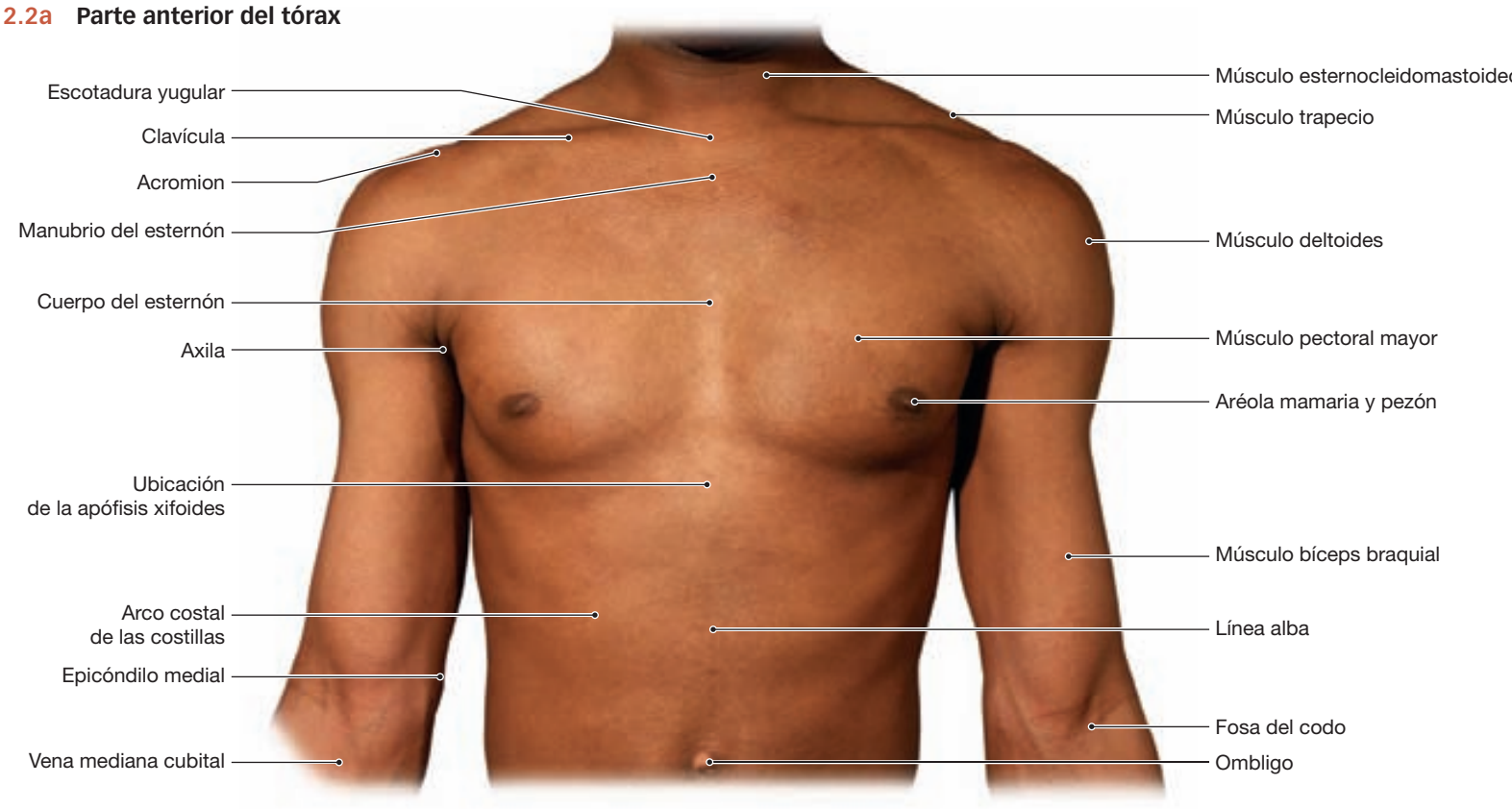


Figura 12.2b **Regiones de la espalda y del hombro**

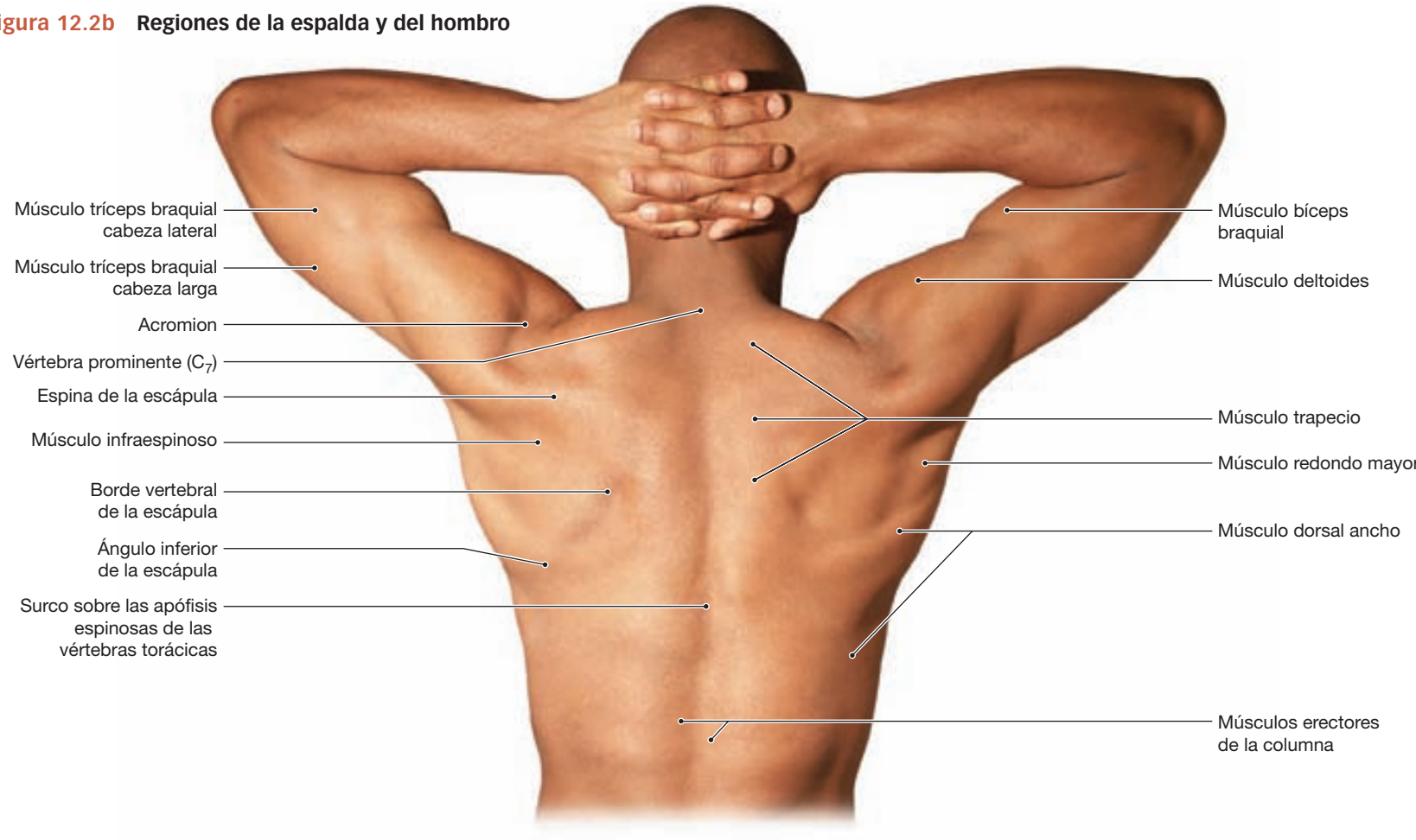
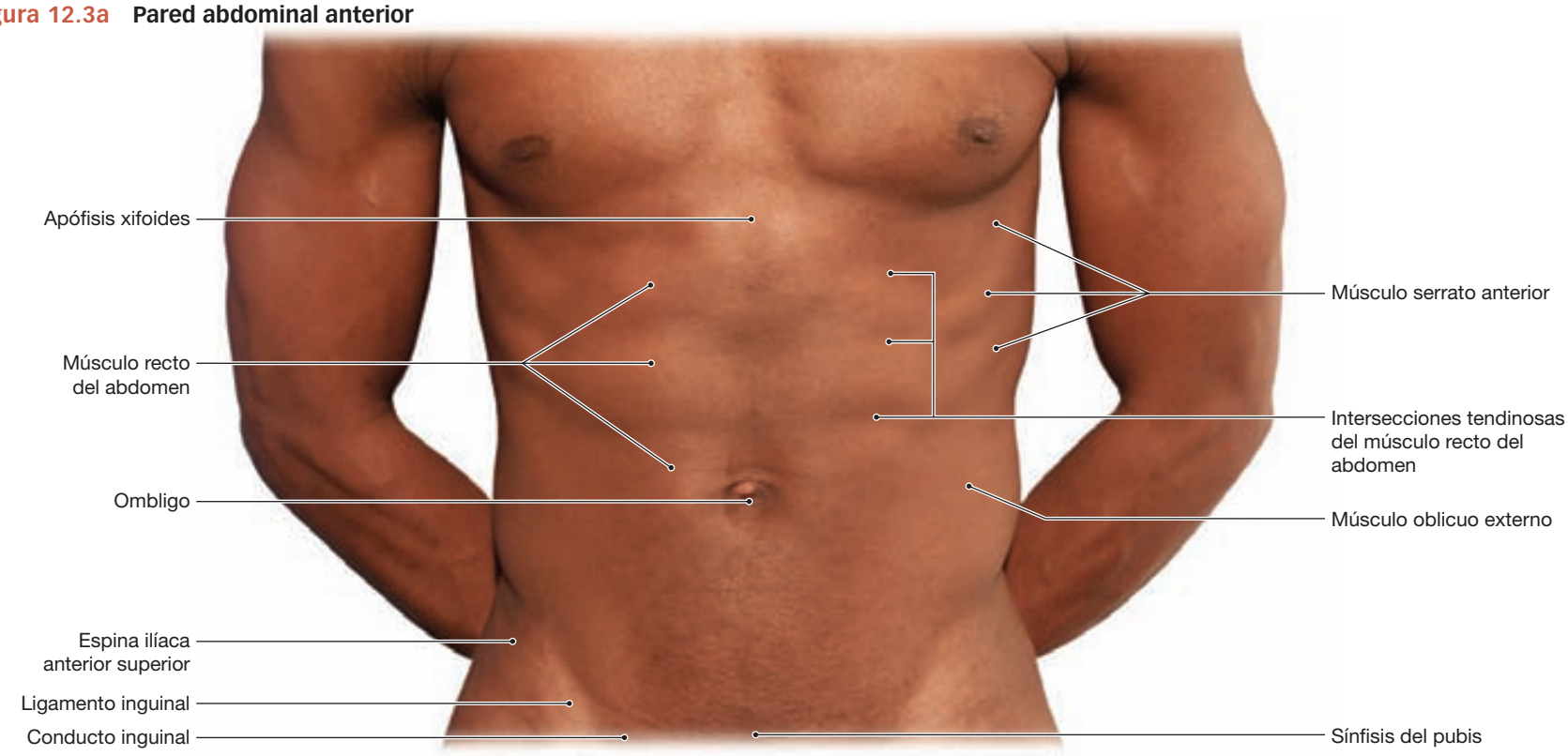


Figura 12.2 **Tórax**

Abdomen [v. figura 12.3]

Figura 12.3a **Pared abdominal anterior**



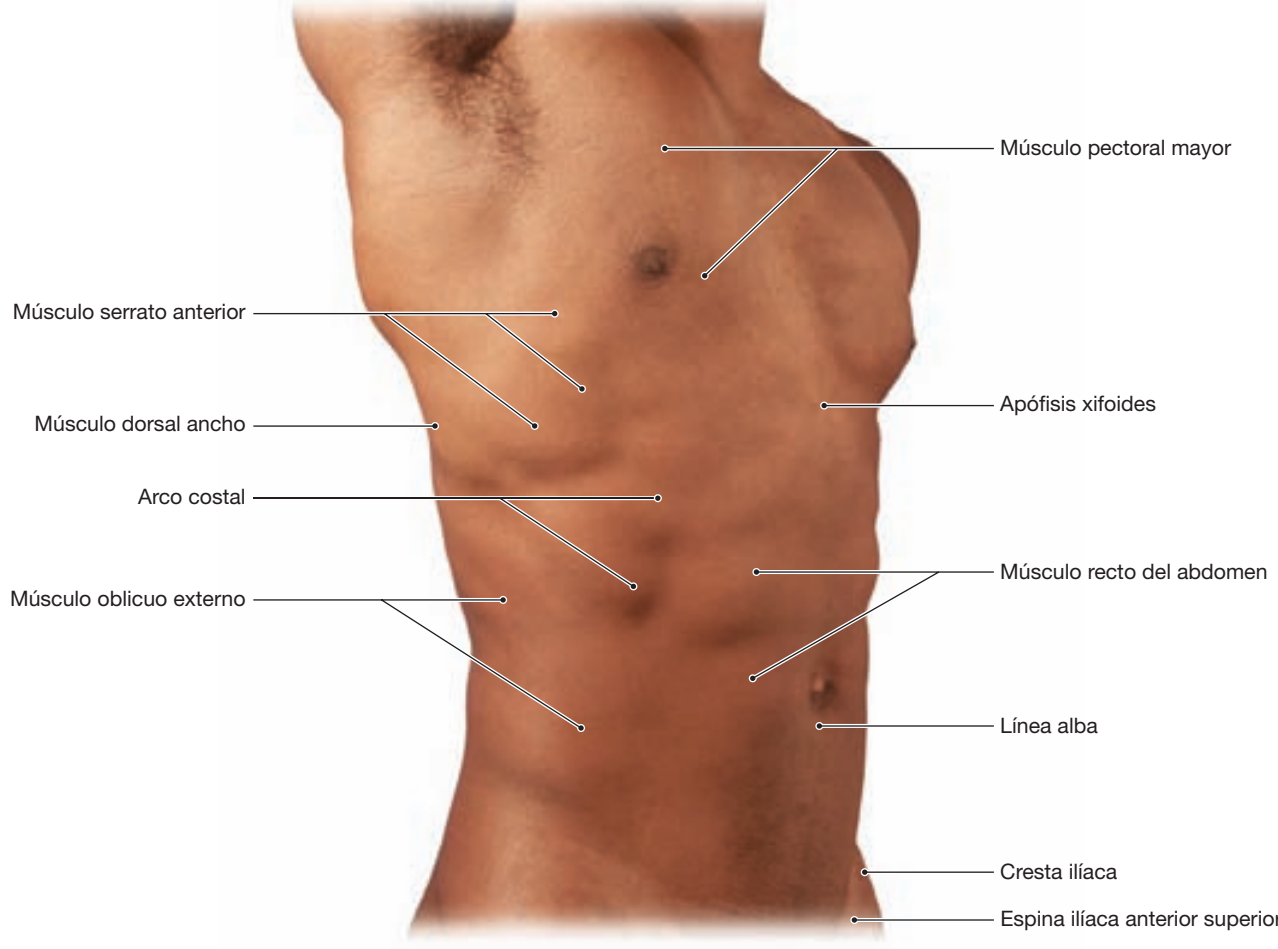


Figura 12.3b **Vista anterolateral de la pared abdominal**

Figura 12.3 **Pared abdominal**

Para consultar más detalles sobre la pared abdominal, véase figura 10.13, p. 277.

Extremidad superior [v. figura 12.4]

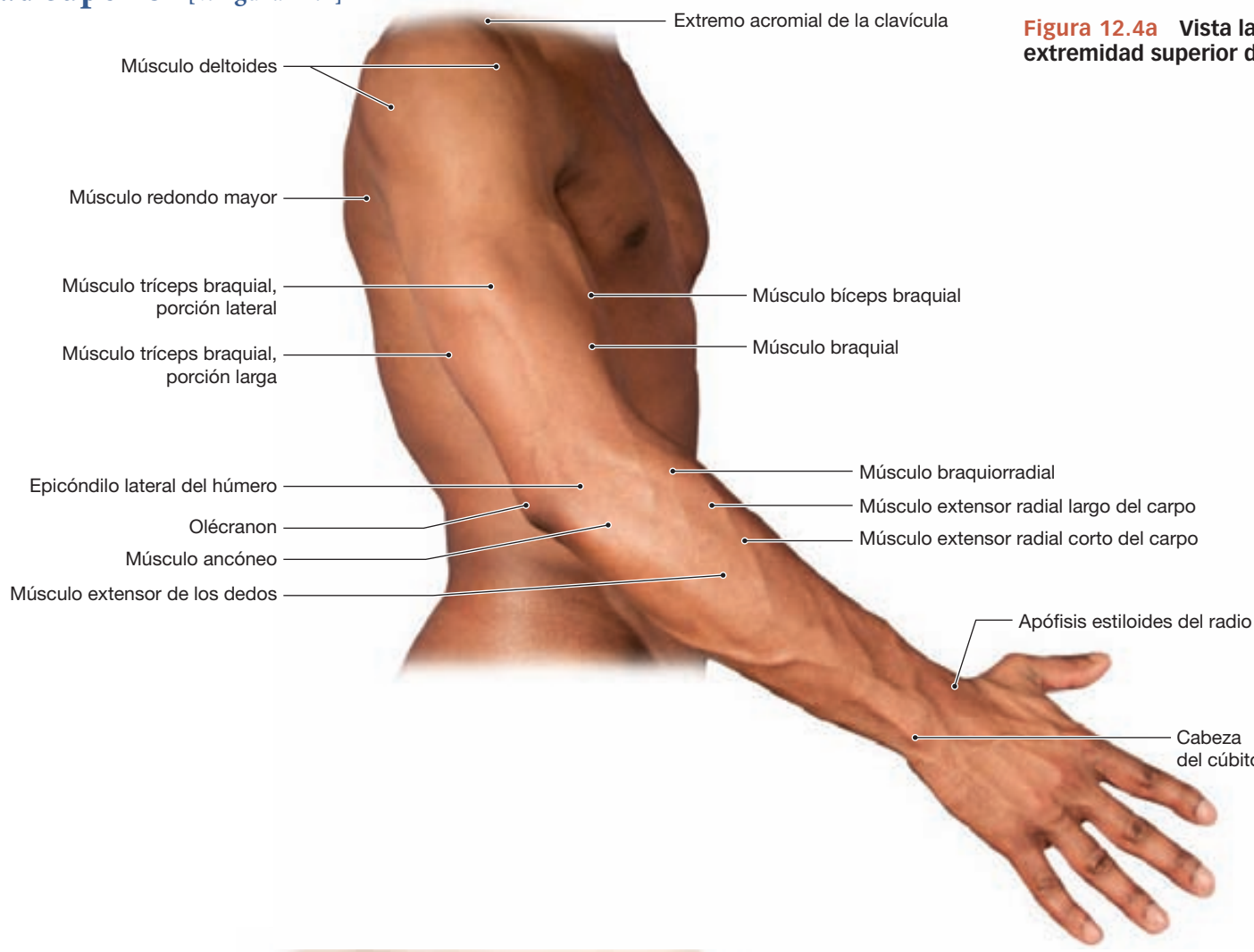


Figura 12.4a **Vista lateral de la extremidad superior derecha**

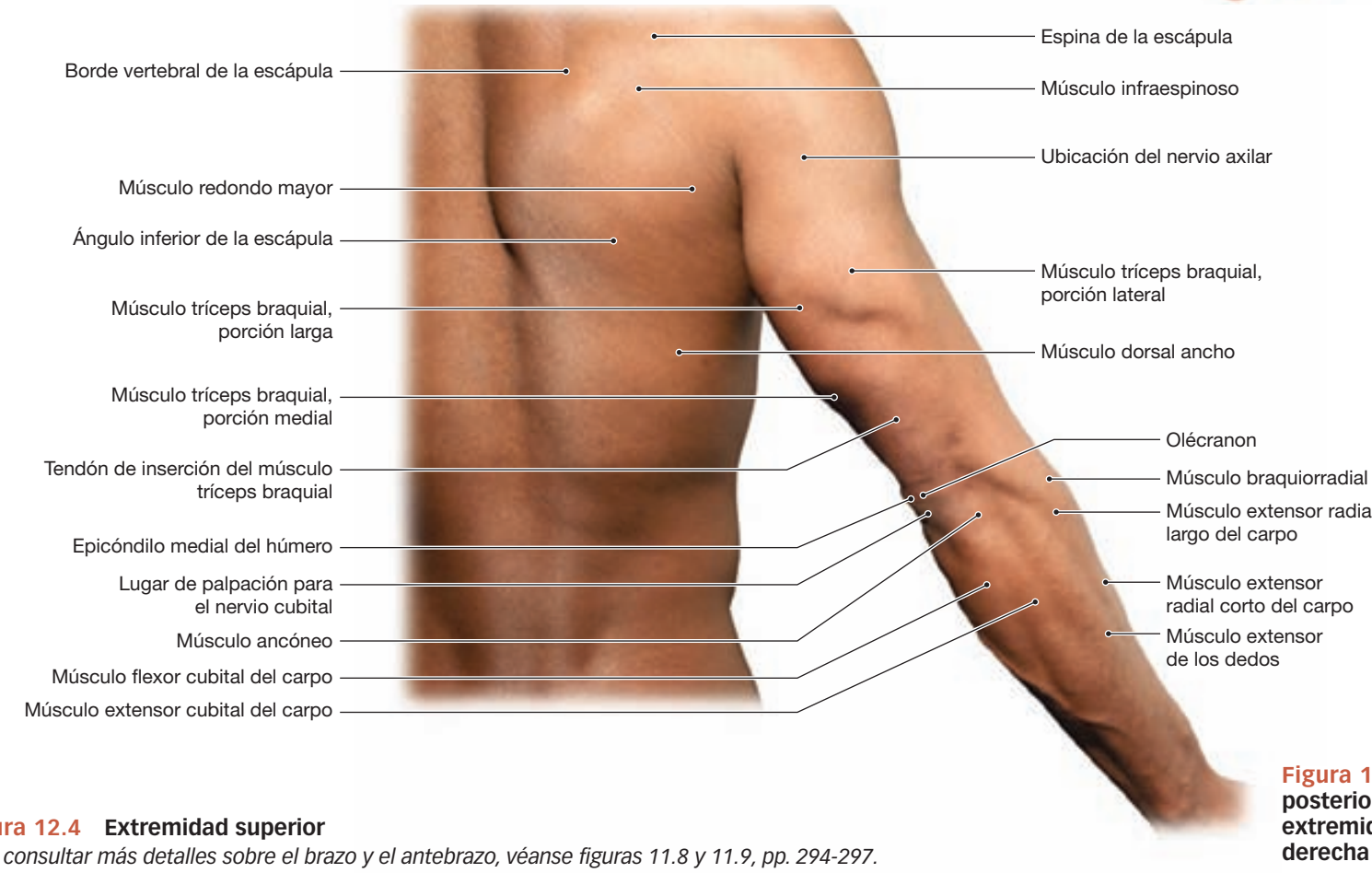

Borde vertebral de la escápula
Espina de la escápula
Músculo infraespinoso
Ubicación del nervio axilar
Músculo redondo mayor
Ángulo inferior de la escápula
Músculo tríceps braquial, porción lateral
Músculo tríceps braquial, porción larga
Músculo dorsal ancho
Músculo tríceps braquial, porción medial
Tendón de inserción del músculo tríceps braquial
Olécranon
Músculo braquiorradial
Músculo extensor radial largo del carpo
Epicóndilo medial del húmero
Lugar de palpación para el nervio cubital
Músculo extensor radial corto del carpo
Músculo ancóneo
Músculo extensor de los dedos
Músculo flexor cubital del carpo
Músculo extensor cubital del carpo

Figura 12.4b **Vista posterior del tórax y la extremidad superior derecha**

Figura 12.4 **Extremidad superior**
Para consultar más detalles sobre el brazo y el antebrazo, véanse figuras 11.8 y 11.9, pp. 294-297.

Brazo, antebrazo y muñeca [v. figura 12.5]

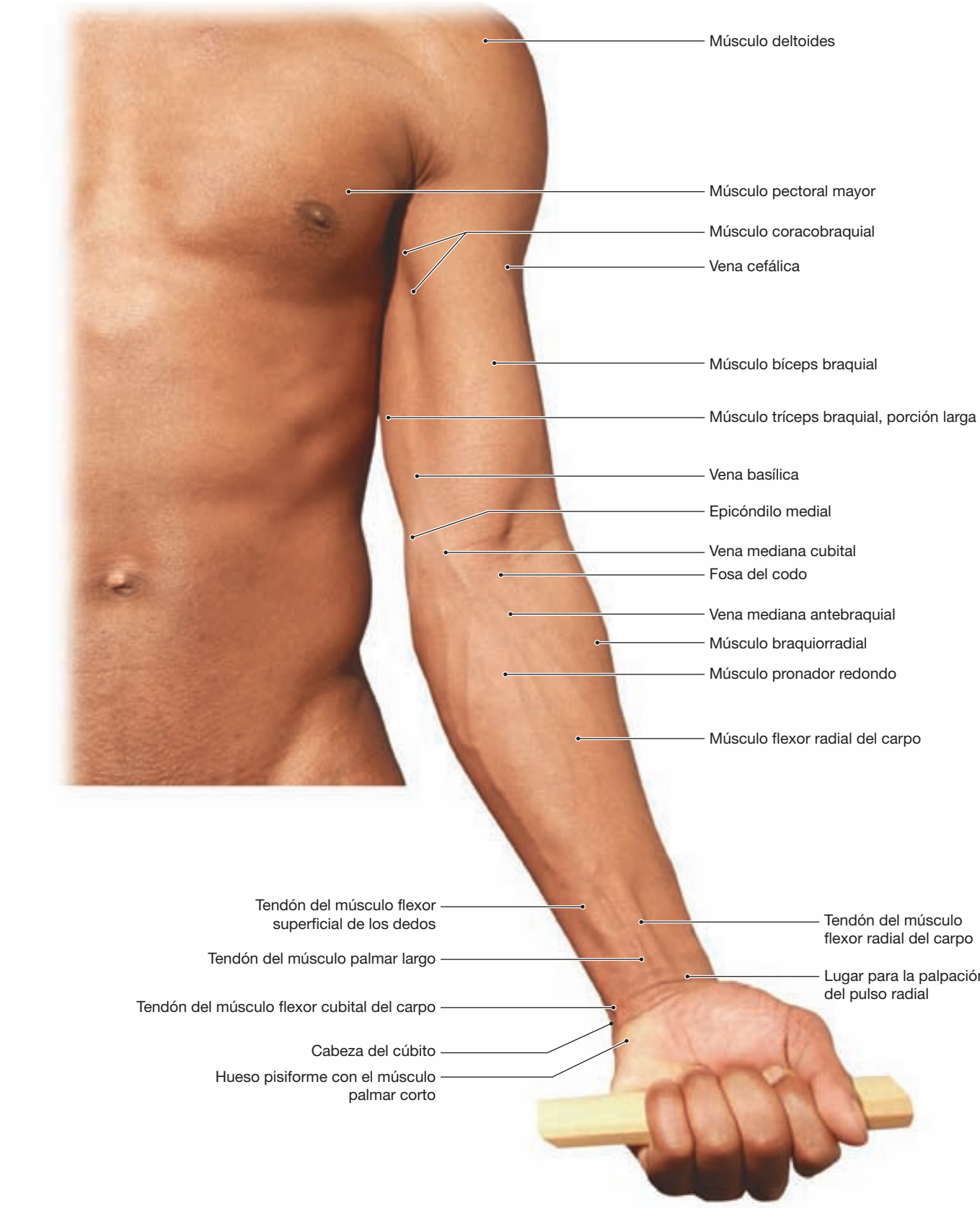

Músculo deltoides
Músculo pectoral mayor
Músculo coracobraquial
Vena cefálica
Músculo bíceps braquial
Músculo tríceps braquial, porción larga
Vena basílica
Epicóndilo medial
Vena mediana cubital
Fosa del codo
Vena mediana antebraquial
Músculo braquiorradial
Músculo pronador redondo
Músculo flexor radial del carpo
Tendón del músculo flexor superficial de los dedos
Tendón del músculo palmar largo
Tendón del músculo flexor cubital del carpo
Cabeza del cúbito
Hueso pisiforme con el músculo palmar corto
Tendón del músculo flexor radial del carpo
Lugar para la palpación del pulso radial

Figura 12.5 **Brazo, antebrazo y muñeca**
Vista anterior del brazo, el antebrazo y la muñeca izquierdos. *Para consultar más detalles sobre el brazo y el antebrazo, véanse figuras 11.5, 11.6, 11.8 y 11.9, pp. 289, 291, 294-295 y 296-297.*

Pelvis y extremidad inferior [v. figura 12.6]

Figura 12.6a Cara anterior del muslo derecho

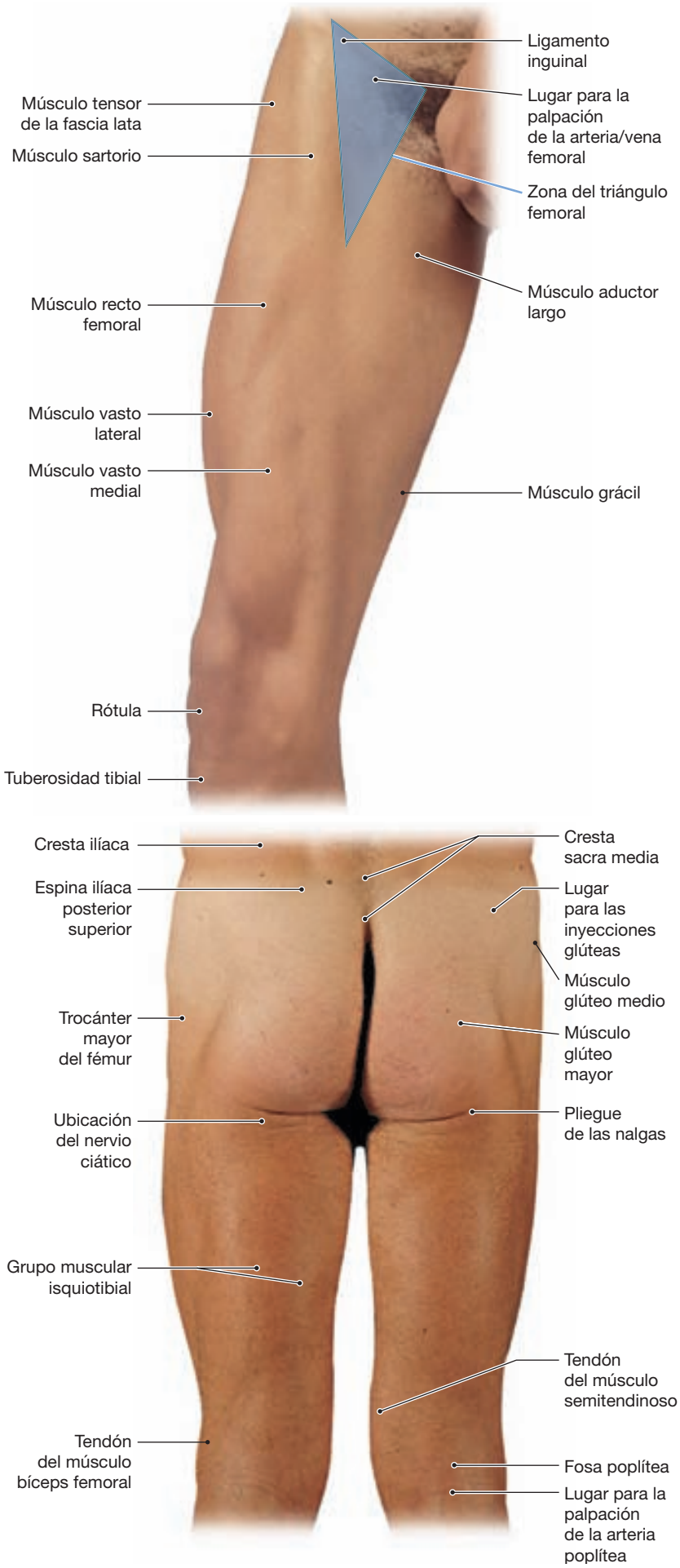


Figura 12.6b Cara lateral del muslo y de la región glútea derechos

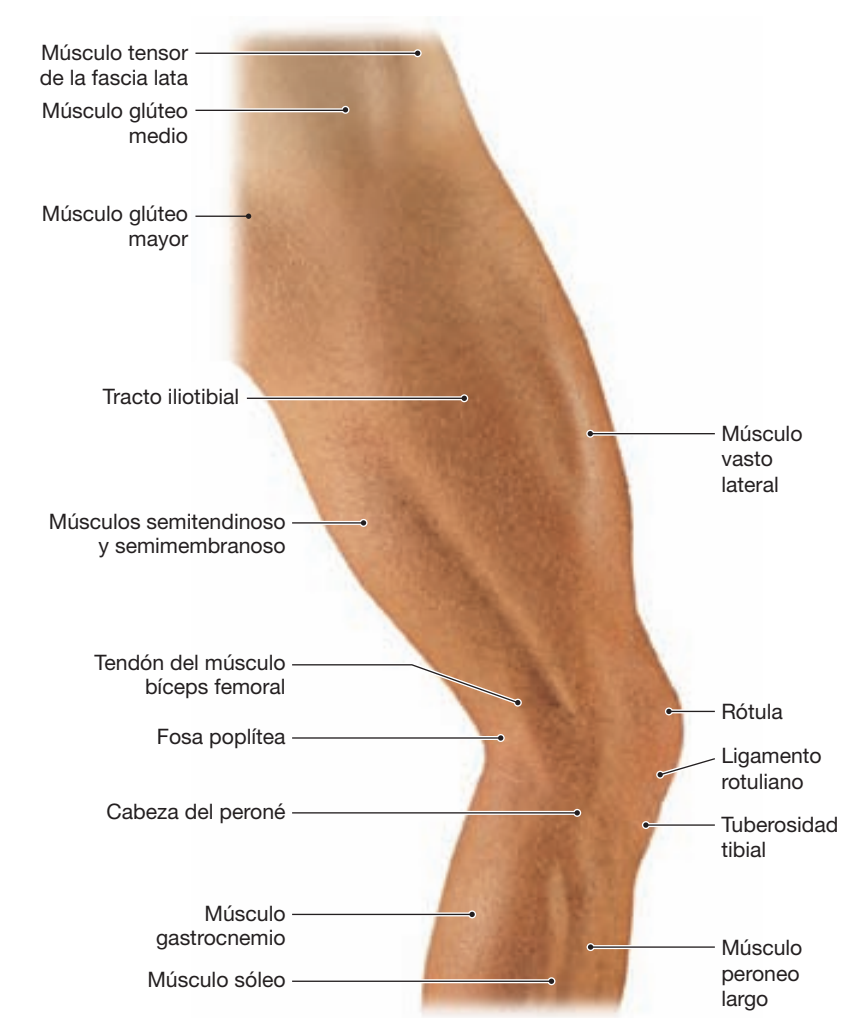


Figura 12.6c Cara posterior del muslo y de la región glútea derechos

Figura 12.6 Pelvis y extremidad inferior

Los límites del *triángulo femoral* son el ligamento inguinal, el borde medial del músculo sartorio y el borde lateral del músculo aductor largo. *Para consultar más detalles sobre el muslo, véanse figuras 11.12 a 11.17, pp. 302-303, 305-307 y 309-311.*

Pierna y pie [v. figura 12.7]

Figura 12.7a **Rodilla y pierna derechas, vista anterior**

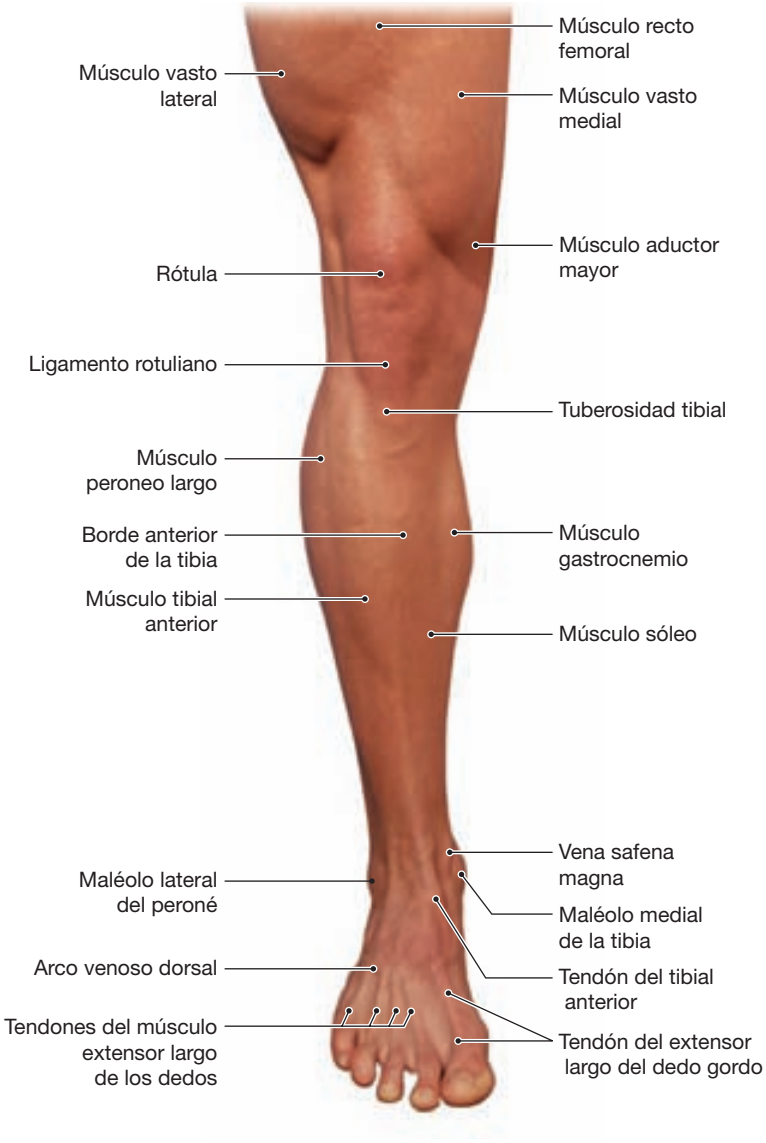


Figura 12.7b **Rodilla y pierna derechas, vista posterior**

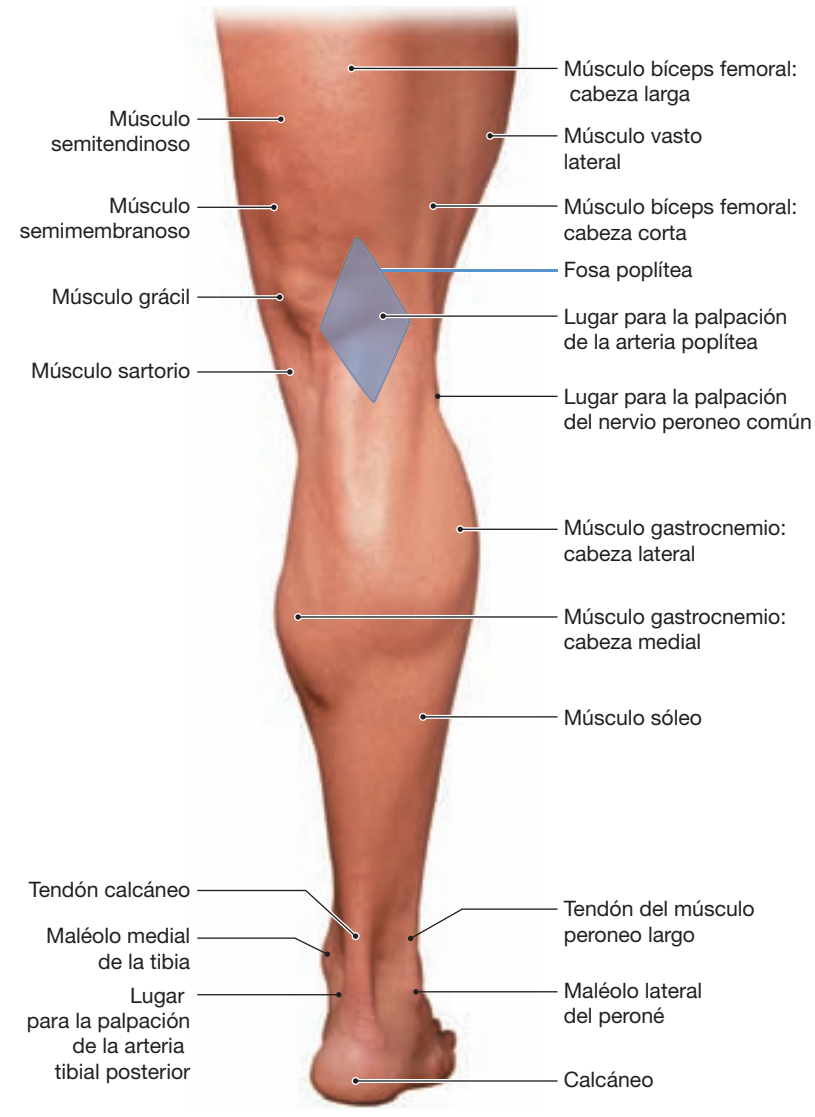


Figura 12.7c **Tobillo y pie derechos, vista anterior**

Maléolo lateral del peroné
Maléolo medial de la tibia
Tendón del músculo tibial anterior
Músculo extensor largo de los dedos
Lugar para la palpación de la arteria dorsal del pie
Arco venoso dorsal
Tendones del músculo extensor largo de los dedos
Tendón del músculo extensor largo del dedo gordo

Figura 12.7d **Tobillo y pie derechos, vista posterior**

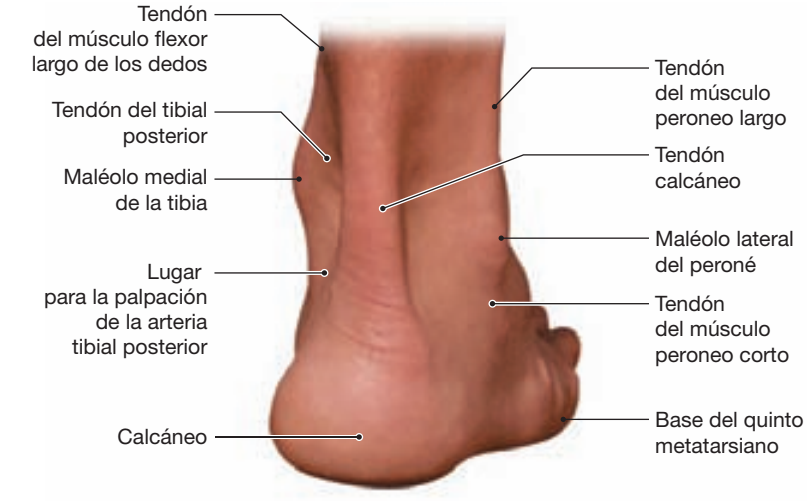

Tendón del músculo flexor largo de los dedos
Tendón del músculo peroneo largo
Tendón del tibial posterior
Tendón calcáneo
Maléolo medial de la tibia
Maléolo lateral del peroné
Lugar para la palpación de la arteria tibial posterior
Tendón del músculo peroneo corto
Base del quinto metatarsiano
Calcáneo

Figura 12.7 **Pierna y pie**

Para consultar otras imágenes del tobillo y el pie, véanse figuras 7.15 a 7.18, pp. 196-200, y figuras 11.15 a 11.21, pp. 306-307 y 309-317.

Anatomía por cortes transversales

Los métodos empleados para observar las estructuras anatómicas han cambiado tremendamente durante los 10-20 últimos años. Por tanto, también son distintas y cada vez mayores las exigencias que se imponen a los estudiantes de anatomía. En la actualidad, es preciso que sepan visualizar las relaciones tridimensionales entre las estructuras anatómicas en una mayor variedad de formatos y que las entiendan. Uno de los modos más fascinantes y problemáticos de contemplar el cuerpo humano lo representan los cortes transversales. Puede utilizarse toda una diversidad de procedimientos tecnológicos para observar el cuerpo en secciones transversales [pp. 22-23]. Uno de los proyectos de mayor envergadura emprendido para entender mejor la anatomía humana en cortes transversales fue *The Visible Human Project*® [pp. 17-18]. Este trabajo dio lugar a más de 1.800 imágenes transversales del cuerpo humano y ha contribuido considerablemente a su conocimiento.

Este apartado del capítulo ofrece varias imágenes transversales extraídas de *The Visible Human Project*® de la *National Library of Medicine*. Cuando estudie estas figuras, siga el proceso siguiente como medio para interpretar y comprender las relaciones anatómicas de cada sección: 1) todos los cortes transversales de este capítulo son imágenes vistas desde abajo. Dicho de otro modo, se contemplan como si estuviera mirando hacia la cabeza desde los pies del individuo. Este es el método habitual de presentación para todas las imágenes clínicas, y 2) el mismo criterio sitúa la superficie anterior en la parte superior de la imagen y la posterior en la inferior. Este método de presentación quiere decir que las estructuras pertenecientes al lado derecho del cuerpo van a aparecer en el izquierdo de la imagen.

Nivel del quiasma óptico [v. figura 12.8]

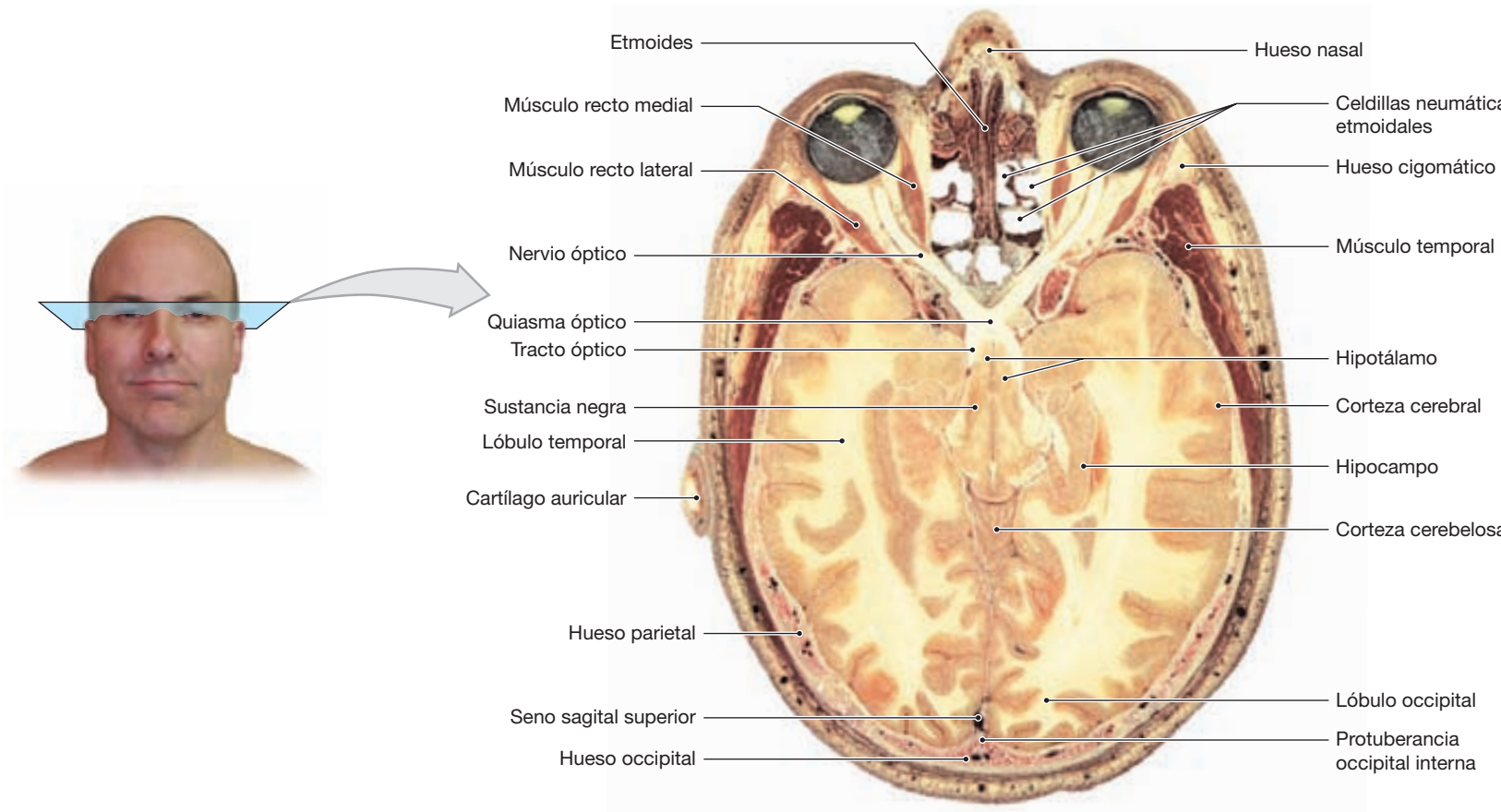


Figura 12.8 **Corte transversal de la cabeza a nivel del quiasma óptico**
Para consultar otras imágenes del cerebro, véanse figuras 15.13 y 15.21, pp. 405 y 417.

Corte transversal de la cabeza a nivel de C_2 [v. figura 12.9]

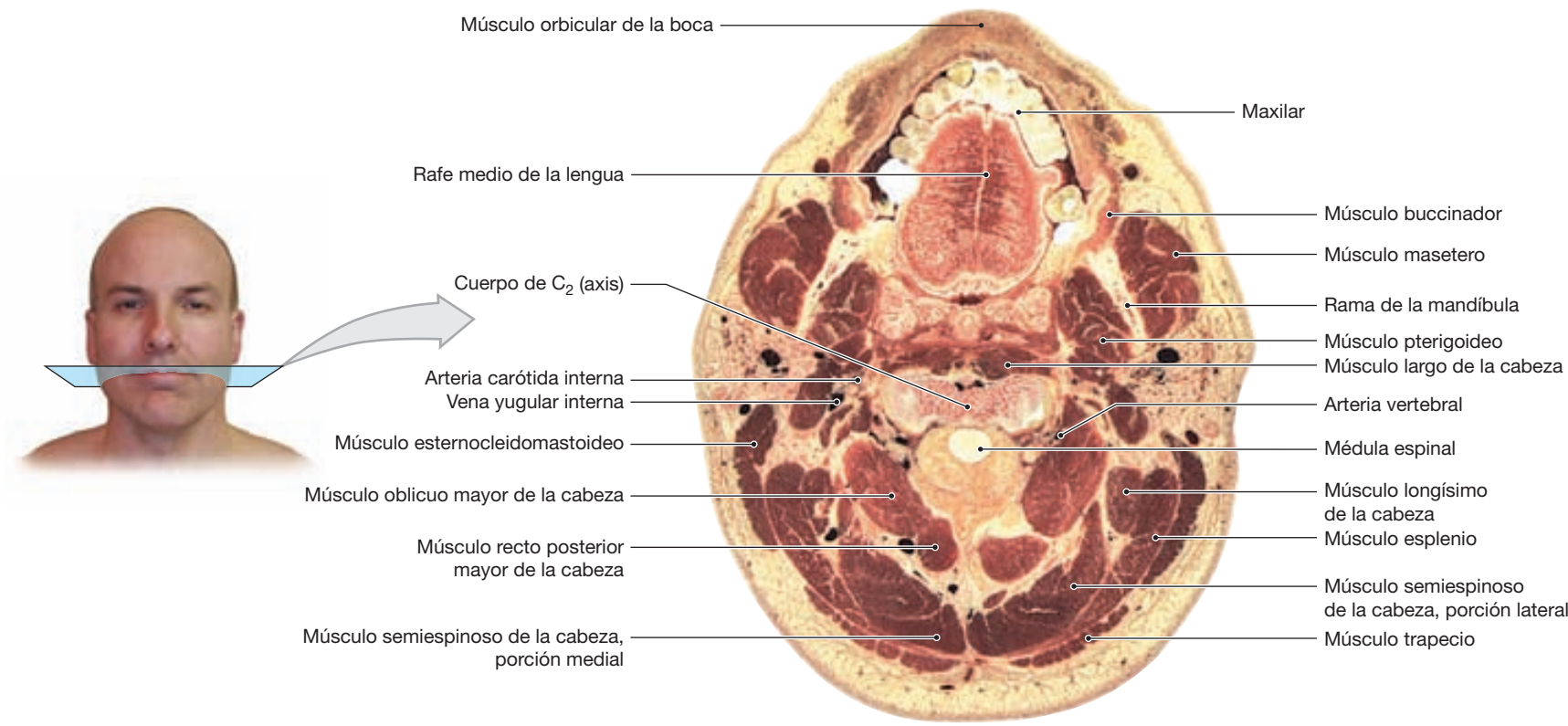


Figura 12.9 **Corte transversal de la cabeza a nivel de la vértebra C_2**
Para consultar otra imagen de los músculos de la columna vertebral, véase figura 10.12, pp. 273-274.

Corte transversal a nivel de la vértebra T_2 [v. figura 12.10]

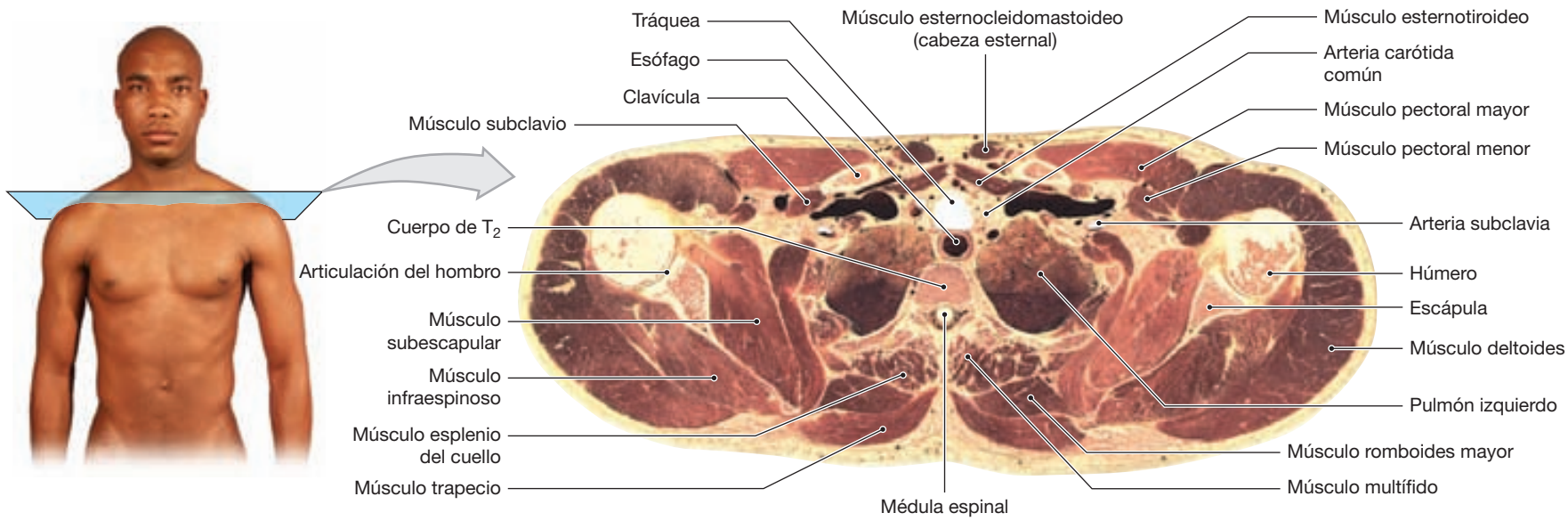


Figura 12.10 **Corte transversal a nivel de la vértebra T_2**
Para consultar otra imagen de la ubicación del corazón dentro de la cavidad torácica, véase figura 21.2, p. 549.

Corte transversal a nivel de la vértebra T_8 [v. figura 12.11]

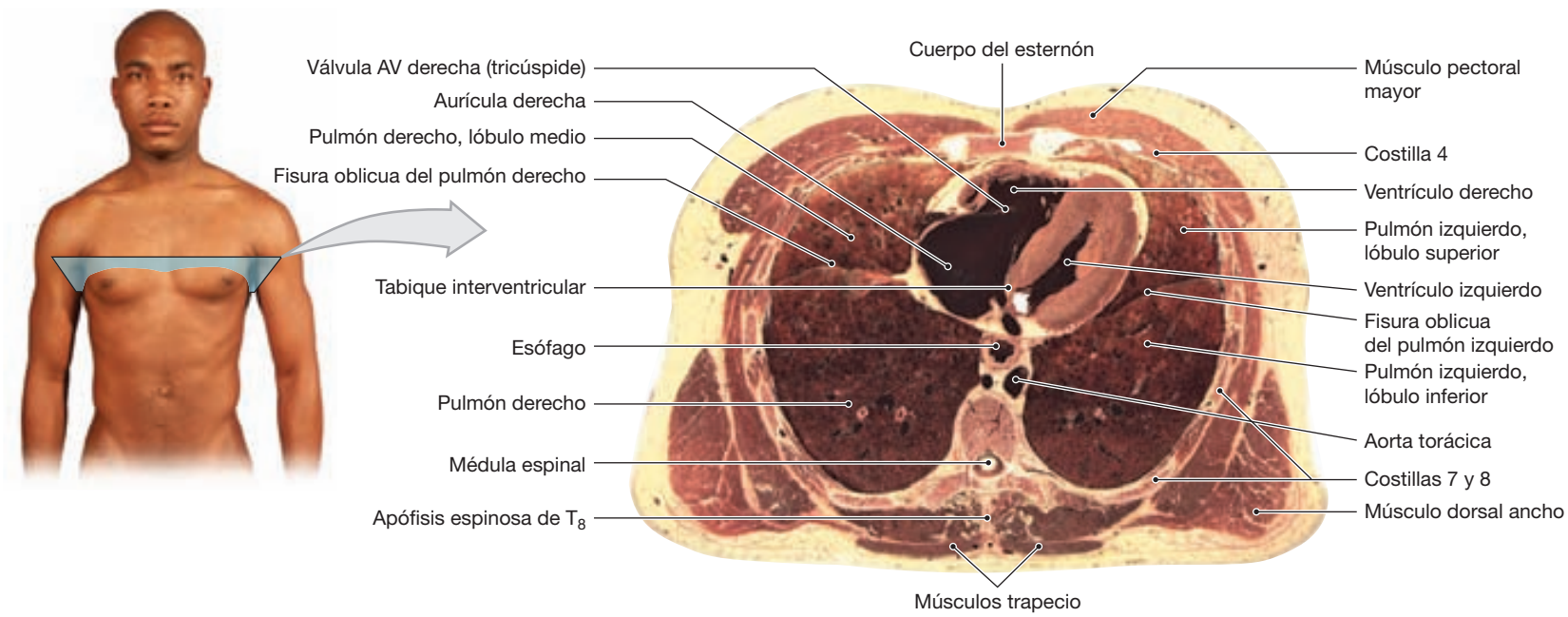


Figura 12.11 **Corte transversal a nivel de la vértebra T_8**
Para consultar otras imágenes del estómago y el hígado, véanse figuras 25.10, 25.11 y 25.20, pp. 669-670 y 682-683.

Corte transversal a nivel de la vértebra T_{10} [v. figura 12.12]

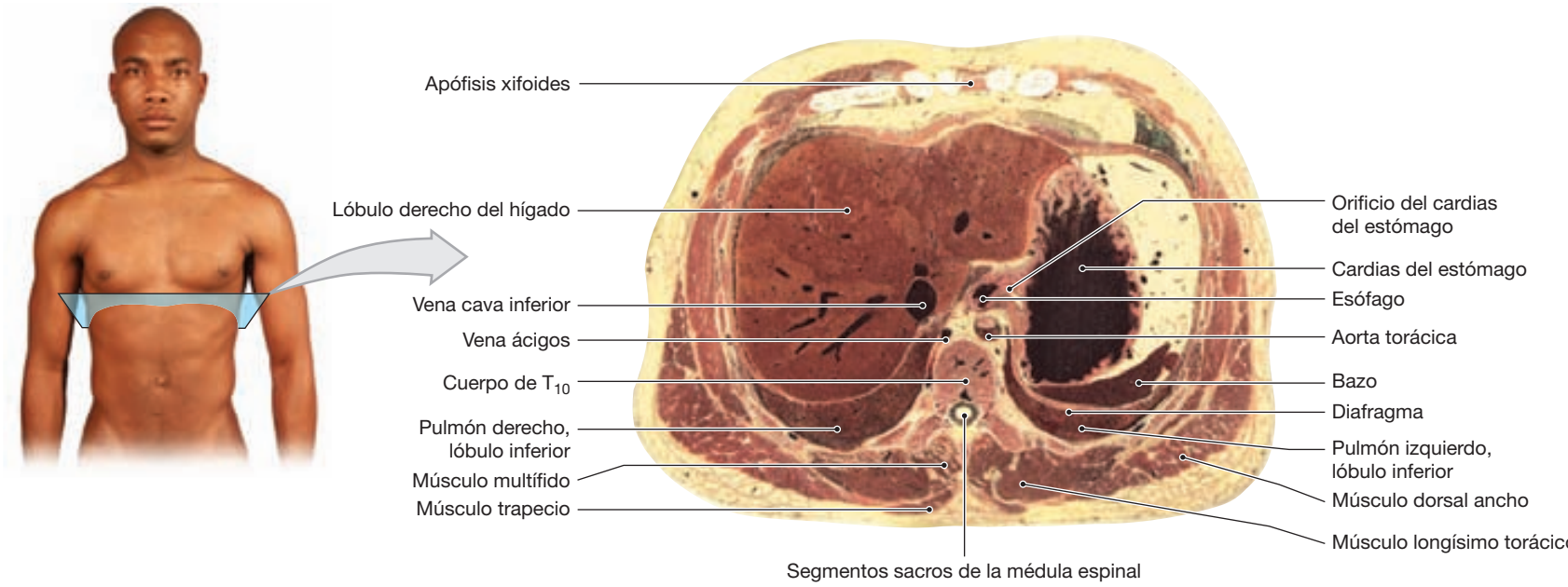


Figura 12.12 **Corte transversal a nivel de la vertebra T_{10}**
Para consultar otras imágenes del intestino grueso, véase figura 25.17, p. 678.

Corte transversal a nivel de la vértebra T_{12} [v. figura 12.13]

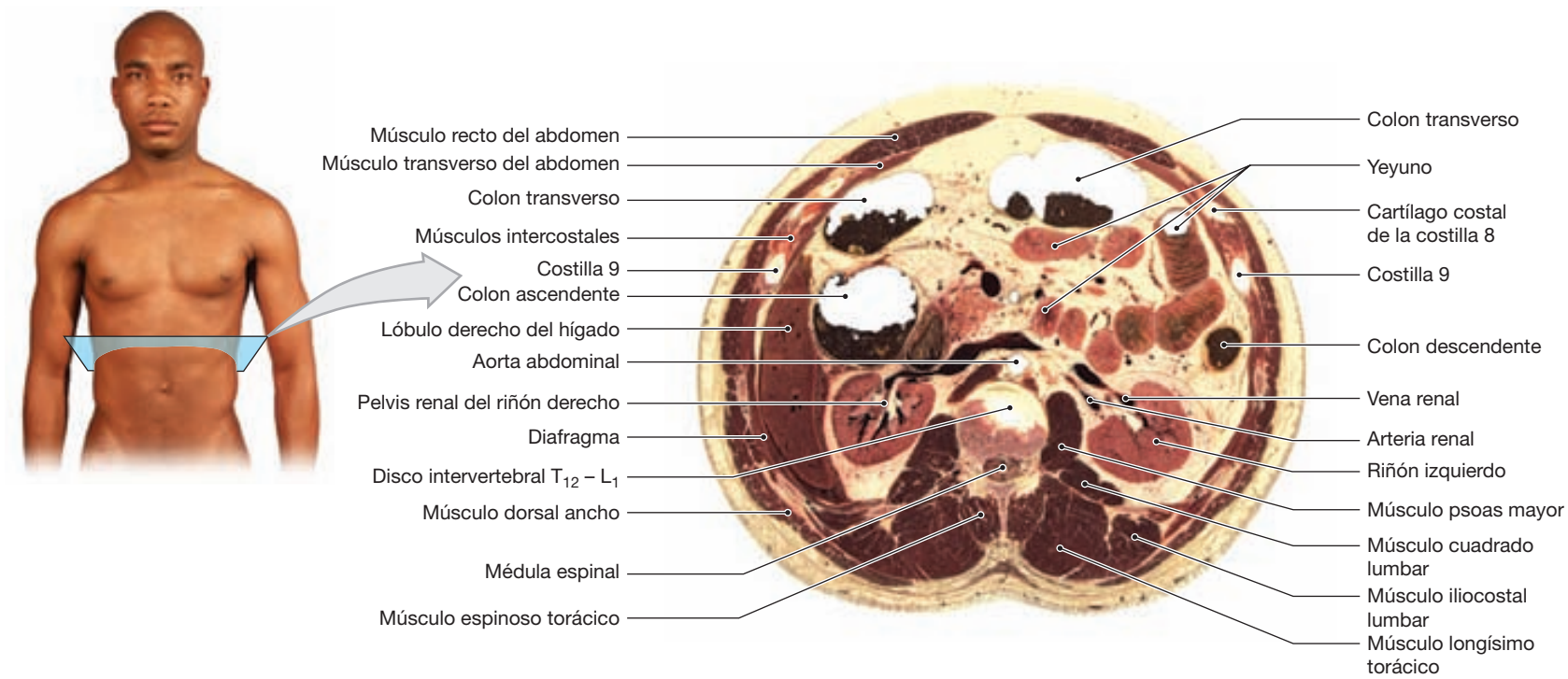


Figura 12.13 **Corte transversal a nivel de la vértebra T_{12}**
Para consultar otras imágenes del riñón, véanse figuras 26.1 y 26.3, pp. 695 y 697.

Corte transversal a nivel de la vértebra L_5 [v. figura 12.14]

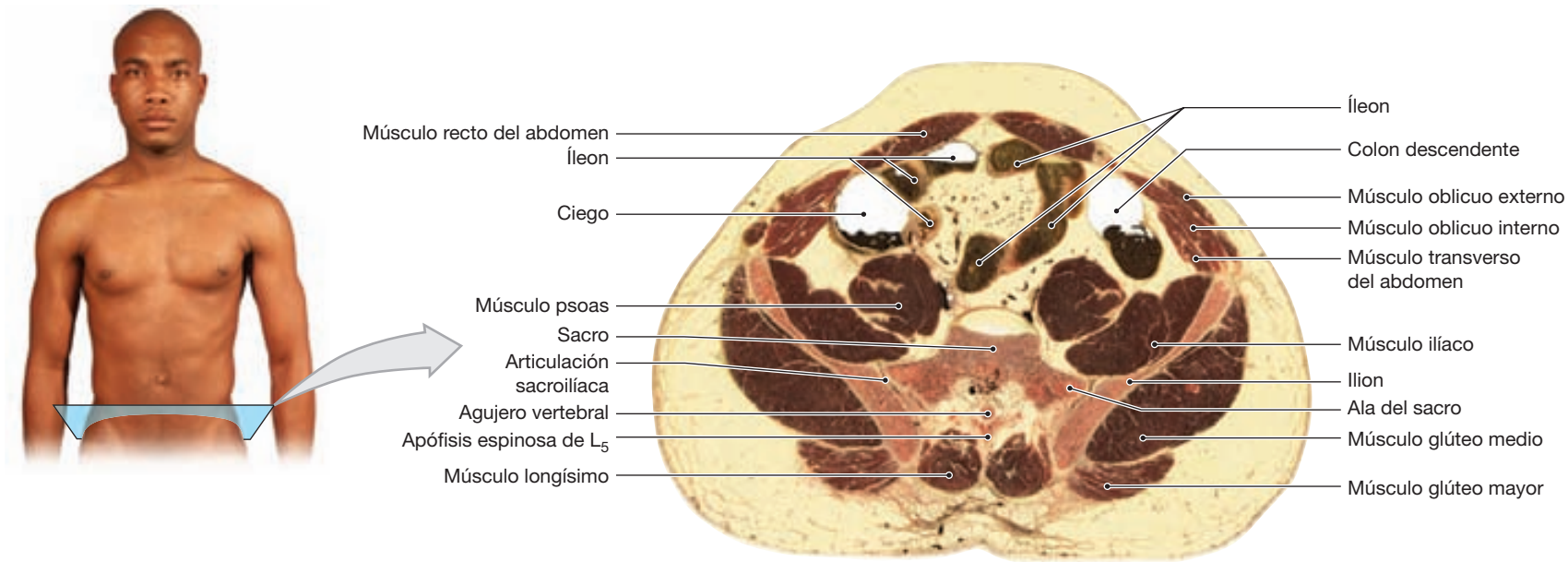
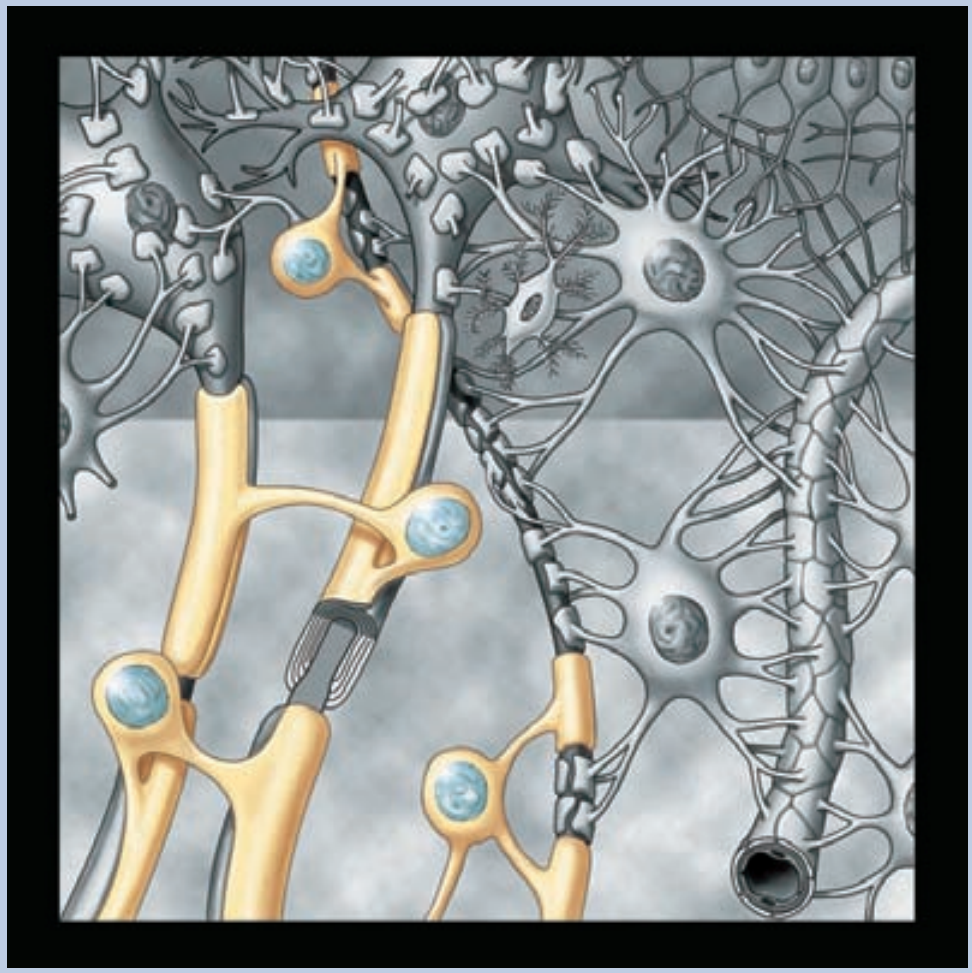


Figura 12.14 **Corte transversal a nivel de la vértebra L_5**

13

Sistema nervioso

Tejido nervioso



Introducción 341

Visión general del sistema nervioso 341

Organización celular del tejido nervioso 342

Regeneración neural 352

Impulso nervioso 353

Comunicación sináptica 354

Organización y procesamiento neuronal 355

Organización anatómica del sistema nervioso 356

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Tratar la organización anatómica y las funciones generales del sistema nervioso.
2. Comparar y contrastar las subdivisiones anatómicas del sistema nervioso.
3. Distinguir entre la neuroglia y las neuronas.
4. Describir los diferentes tipos de neuroglia y comparar su estructura y funciones.
5. Describir la estructura y función de la vaina de mielina y las diferencias entre su formación en el SNC y el SNP.
6. Describir la estructura de una neurona típica y entender las bases para la clasificación estructural y funcional de las neuronas.
7. Describir el proceso de regeneración del nervio periférico después de la lesión de un axón.
8. Describir el significado de la excitabilidad en las membranas celulares del músculo y del nervio.
9. Identificar los factores que determinan la velocidad de conducción del impulso nervioso.
10. Describir la anatomía microscópica de una sinapsis, resumir los fenómenos que ocurren durante la transmisión sináptica y describir los efectos de un neurotransmisor típico, la ACh.
11. Tratar los posibles métodos de interacción entre las neuronas individuales o los conjuntos de neuronas en los grupos neuronales.
12. Describir la organización anatómica básica del sistema nervioso.

El *sistema nervioso* se encuentra entre los sistemas orgánicos más pequeños en términos de peso corporal, a pesar de lo cual es con mucho el más complejo. Aunque con frecuencia se le compara con un ordenador, el sistema nervioso es mucho más complicado y versátil que cualquier dispositivo electrónico. Igual que en los ordenadores, el rápido flujo de información y la elevada velocidad de procesamiento dependen de la actividad eléctrica. Sin embargo, al contrario que en el ordenador, ciertas porciones del cerebro pueden reprocesar sus conexiones eléctricas a medida que llega nueva información, lo que forma parte del proceso de aprendizaje.

Junto con el *sistema endocrino*, que se trata en el capítulo 19, el sistema nervioso controla y ajusta la actividad de otros sistemas. Estos dos sistemas comparten características estructurales y funcionales importantes. Ambos cuentan con cierta forma de comunicación química con los tejidos y órganos diana y a menudo actúan de forma complementaria. El sistema nervioso generalmente proporciona respuestas relativamente rápidas pero breves a los estímulos mediante la modificación temporal de la actividad de otros sistemas orgánicos. La respuesta puede aparecer casi inmediatamente (en unos pocos milisegundos), pero los efectos desaparecen casi igual de rápidamente después de cesar la actividad nerviosa. En cambio, las respuestas endocrinas típicamente son más lentas en su desarrollo que las respuestas nerviosas pero con frecuencia duran mucho más tiempo, incluso horas, días o años. El sistema endocrino ajusta la actividad metabólica de otros sistemas en respuesta a los cambios en la disponibilidad de los nutrientes y las demandas energéticas. También coordina procesos que continúan durante períodos extensos (meses a años), como el crecimiento y el desarrollo. Los capítulos 13-18 detallan los diversos componentes y funciones del sistema nervioso. Este capítulo comienza la serie que analiza la estructura y función del tejido nervioso y los principios básicos de la función neural. Los siguientes capítulos se desarrollarán sobre estos fundamentos ya que exploran la organización funcional del cerebro, la médula espinal, las funciones superiores y los órganos de los sentidos.

Visión general del sistema nervioso

[v. figuras 13.1/13.2 y tabla 13.1]

El **sistema nervioso** incluye todo el **tejido nervioso** del organismo [p. 77]. La tabla 13.1 proporciona una revisión de los conceptos y términos más importantes que se presentan en este capítulo.

El sistema nervioso tiene dos subdivisiones anatómicas: el *sistema nervioso central* y el *sistema nervioso periférico* (v. figura 13.1). El **sistema nervioso central (SNC)** consta del *cerebro* y la *médula espinal*. El SNC es responsable de la integración, procesamiento y coordinación de los impulsos sensitivos entrantes y motores salientes. También es la sede de las funciones superiores como la inteligencia, la memoria, el aprendizaje y las emociones. En fases precoces del desarrollo, el SNC comienza como una masa de tejido nervioso organizado en un tubo hueco. A medida que continúa el desarrollo, la cavidad central disminuye de tamaño relativo, pero el grosor de las paredes y el diámetro del espacio que delimitan varían de una región a otra. La estrecha cavidad central que persiste en el interior de la médula espinal se denomina *conducto central*; los *ventrículos* son cámaras expandidas que se continúan con el conducto central y se encuentran en regiones específicas del cerebro. El *líquido cefalorraquídeo (LCR)* llena el conducto central y los ventrículos y rodea el SNC.

El **sistema nervioso periférico (SNP)** incluye todo el tejido nervioso en el exterior del SNC. El SNP proporciona al SNC información sensitiva y conduce las órdenes motoras desde el SNC hasta los tejidos y sistemas periféricos. El SNP se subdivide en dos divisiones (v. figura 13.2). La **división aferente** del SNP lleva la información sensitiva al SNC y la **división eferente** transporta las órdenes motoras a los músculos y las glándulas. La división aferente comienza en los **receptores** que controlan características específicas del entorno. Un receptor puede ser una *dendrita* (una prolongación sensitiva de una neurona), una célula o un racimo de células especializadas, o un órgano sensitivo complejo (como el ojo). Cualquiera que sea la estructura, la estimulación de un receptor proporciona una información que puede ser transportada al SNC. La división eferente comienza en el interior del SNC y termina en un **efector:** una célula muscular, una célula glandular u otra célula especializada en realizar funciones específicas. Ambas divisiones tienen componentes *somáticos* y *viscerales*. La división aferente conduce información desde los receptores sensitivos **somáticos** que controlan los músculos estriados, las articulaciones y la piel, y desde los receptores sensitivos **viscerales** que controlan otros tejidos internos como el músculo liso, el músculo cardíaco y las glándulas. La división aferente tam-

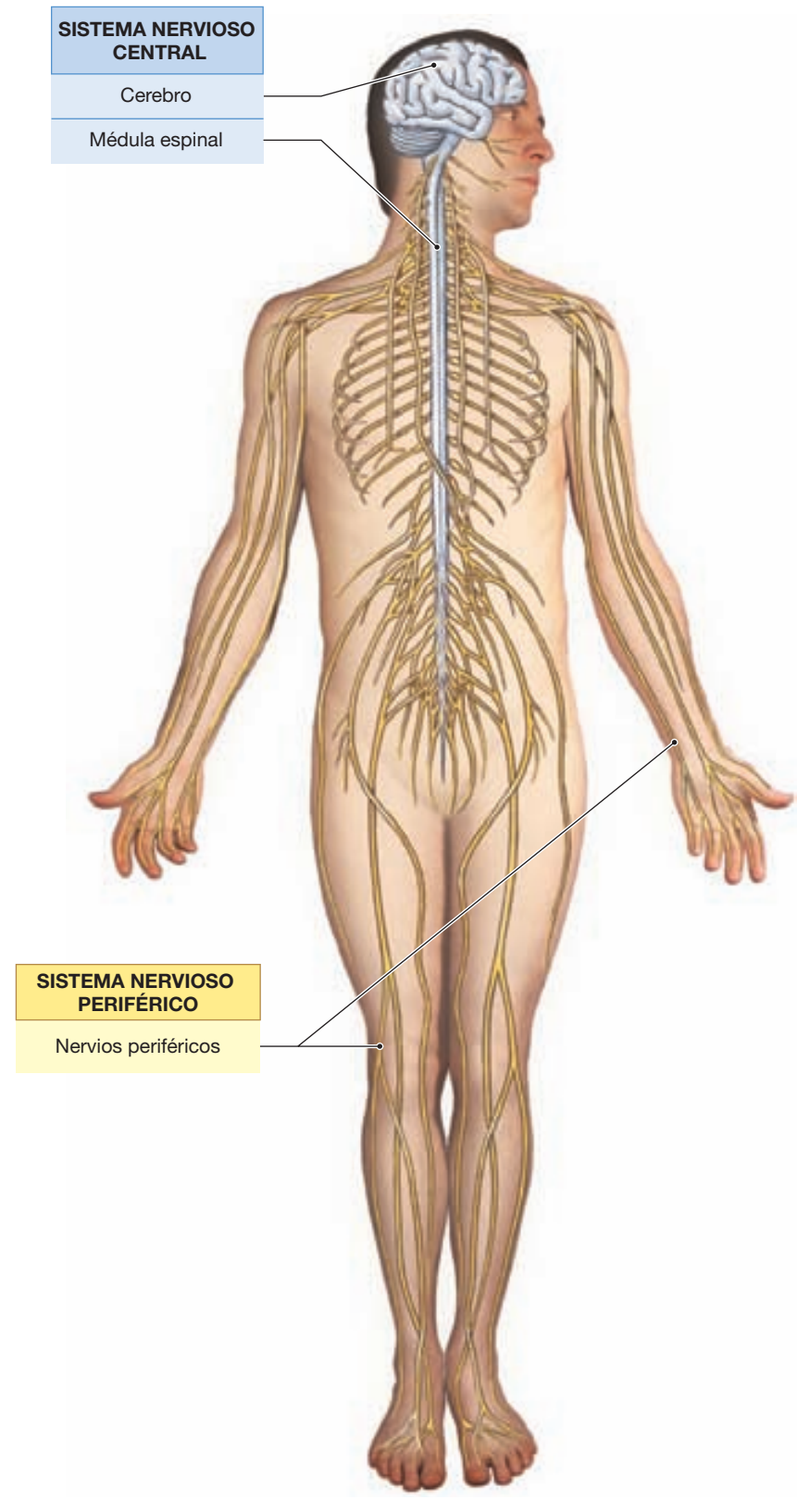


Figura 13.1 Sistema nervioso
El sistema nervioso incluye todo el tejido nervioso del organismo. Sus componentes incluyen el cerebro, la médula espinal, los órganos de los sentidos, como el ojo y el oído, y los nervios que interconectan esos órganos y relacionan el sistema nervioso con otros aparatos.

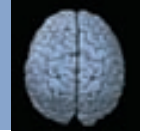


TABLA 13.1 Glosario introductorio para el sistema nervioso

DIVISIONES ANATÓMICAS Y FUNCIONALES PRINCIPALES	
Sistema nervioso central (SNC)	El cerebro y la médula espinal, que contienen los centros de control responsables de procesar e integrar la información sensitiva, programar y coordinar las respuestas a los estímulos y proporcionar un control a corto plazo sobre las actividades de otros sistemas.
Sistema nervioso periférico (SNP)	Tejido nervioso situado fuera del SNC cuya función es relacionar el SNC con los órganos de los sentidos y otros sistemas.
Sistema nervioso autónomo (SNA)	Componentes del SNC y del SNP que están relacionados con el control de las funciones viscerales.
ANATOMÍA MACROSCÓPICA	
Núcleo:	Un centro del SNC con límites anatómicos diferenciados (p. 357).
Centro:	Un grupo de cuerpos celulares neuronales en el SNC que comparten una función común (p. 357).
Tracto:	Un haz de axones en el SNC que comparten un origen, destino y función comunes (p. 357).
Columna:	Un grupo de tractos que se encuentran en una región específica de la médula espinal (p. 357).
Vías:	Centros y tractos que conectan el cerebro con otros órganos y sistemas del cuerpo (p. 357).
Ganglios:	Una colección anatómicamente diferenciada de cuerpos celulares de neuronas sensitivas o motoras en el SNP (p. 346).
Nervio:	Un haz de axones en el SNP (p. 346).
HISTOLOGÍA	
Sustancia gris:	Tejido nervioso en el que predominan cuerpos celulares de las neuronas (p. 345).
Sustancia blanca:	Tejido nervioso en el que predominan axones mielinizados (p. 345).
Corteza cerebral:	Una capa de sustancia gris en la superficie del cerebro (p. 357).
Neurona:	La unidad funcional básica del sistema nervioso; una célula altamente especializada; una célula nerviosa (pp. 341-342).
Neurona sensitiva:	Una neurona cuyo axón transporta información sensitiva desde el SNP hacia el SNC (p. 351).
Neurona motora:	Una neurona cuyo axón transporta órdenes motoras desde el SNC hacia los efectores en el SNP (p. 351).
Soma:	El cuerpo celular de una neurona (p. 344).
Dendritas:	Prolongaciones neuronales que están especializadas para responder a estímulos específicos del entorno extracelular (p. 344).
Axón:	Una prolongación citoplasmática larga y delgada de una neurona; los axones son capaces de conducir los impulsos nerviosos (potenciales de acción) (p. 344).
Mielina:	Una cubierta membranosa, producida por las células gliales, que envuelve los axones y aumenta la velocidad de propagación del potencial de acción; los axones envueltos por mielina se dice que están *mielinizados* (p. 345).
Neuroglia o células gliales:	Células de soporte que interaccionan con las neuronas y regulan el entorno extracelular, proporcionan defensa contra los patógenos y realizan reparaciones en el tejido nervioso (p. 344).
GRUPOS FUNCIONALES	
Receptor:	Una célula, dendrita u órgano especializados que responden a estímulos específicos en el entorno extracelular y cuya estimulación altera el nivel de actividad de una neurona sensitiva (pp. 341, 351).
Efector:	Un músculo, glándula u otra célula u órgano especializados que responden a la estimulación nerviosa alterando su actividad y produciendo un efecto específico (p. 341).
Reflejo:	Una respuesta rápida, estereotipada a un estímulo específico.
Somático:	Perteneciente al control de la actividad del músculo estriado *(somático motor)* o a la información sensitiva de los músculos estriados, tendones y articulaciones *(somático sensitivo)* (pp. 342, 351).
Visceral:	Perteneciente al control de funciones como la digestión, la circulación, etc. *(visceral motor)* o a la información sensitiva de los órganos viscerales *(visceral sensitivo)* (pp. 342, 351).
Voluntario:	Que está bajo control consciente directo (p. 342).
Involuntario:	Que no está bajo control consciente directo (p. 342).
Subconsciente:	Perteneciente a los centros del cerebro que operan fuera de la conciencia de una persona (p. 342).
Potenciales de acción:	Cambios súbitos, transitorios en el potencial de membrana que se propagan a lo largo de la superficie de un axón o del sarcolema (p. 353).

bién lleva la información proporcionada por los órganos especiales de los sentidos como el ojo y el oído. La división eferente incluye el **sistema nervioso somático (SNS)** que controla las contracciones del músculo estriado y el **sistema nervioso autónomo (SNA),** o *sistema motor visceral,* que regula el músculo liso, el músculo cardíaco y la actividad glandular.

La actividad del sistema nervioso somático puede ser *voluntaria* o *involuntaria*. Las contracciones voluntarias de nuestros músculos estriados están bajo el control consciente; se ejerce un control voluntario sobre los músculos del brazo cuando se lleva un vaso lleno de agua hasta la boca. Las contracciones involuntarias están dirigidas fuera de la conciencia; si accidentalmente se pone la mano sobre un horno caliente, será retirada inmediatamente, generalmente incluso antes de notar el dolor. Las actividades del sistema nervioso autónomo generalmente están fuera de nuestra conciencia o control.

Los órganos del SNC y del SNP son complejos, con numerosos vasos sanguíneos y capas de tejido conjuntivo que proporcionan protección física y soporte mecánico. No obstante, todas las funciones variadas y esenciales del sistema nervioso son realizadas por neuronas individuales que deben mantenerse seguras, estables y completamente funcionales. Nuestra discusión del sistema nervioso comenzará a nivel celular, con la histología del tejido nervioso.

Organización celular del tejido nervioso [v. figura 13.3]

El tejido nervioso contiene dos tipos de células diferenciadas: las células nerviosas o *neuronas*, y las células de soporte, o *neuroglia*. Las **neuronas** (*neuro*, nervio) son

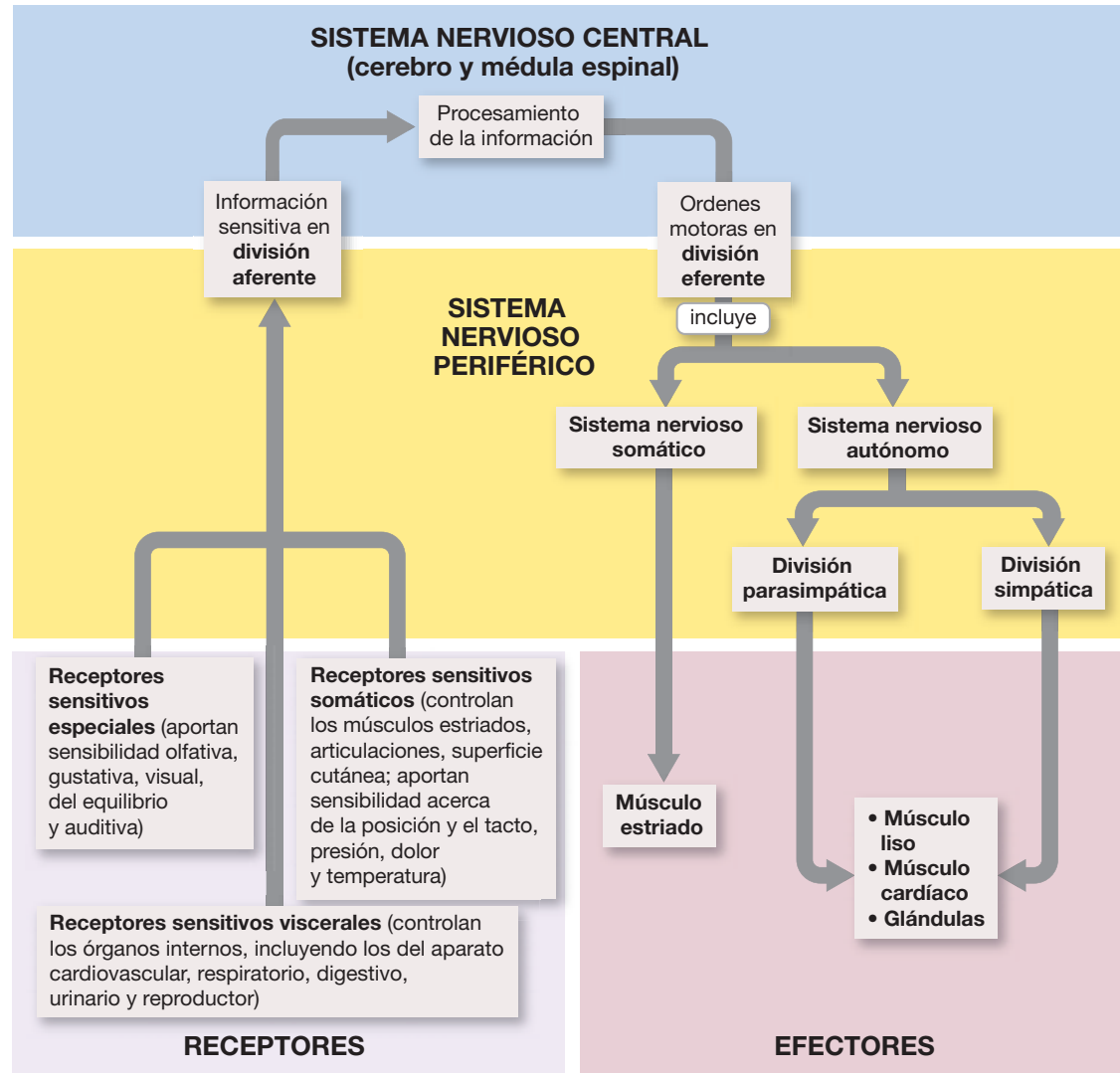

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL
(cerebro y médula espinal)
Procesamiento de la información
Información sensitiva en división aferente
Ordenes motoras en división eferente
SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO
incluye
Sistema nervioso somático
Sistema nervioso autónomo
División parasimpática
División simpática
Receptores sensitivos especiales (aportan sensibilidad olfativa, gustativa, visual, del equilibrio y auditiva)
Receptores sensitivos somáticos (controlan los músculos estriados, articulaciones, superficie cutánea; aportan sensibilidad acerca de la posición y el tacto, presión, dolor y temperatura)
Receptores sensitivos viscerales (controlan los órganos internos, incluyendo los del aparato cardiovascular, respiratorio, digestivo, urinario y reproductor)
Músculo estriado
• Músculo liso
• Músculo cardíaco
• Glándulas
RECEPTORES
EFECTORES

Figura 13.2 Visión general funcional del sistema nervioso
Este diagrama muestra la relación entre el SNC y el SNP y las funciones y componentes de la división aferente y eferente.

Nota clínica

Los síntomas de los trastornos neurológicos Cuando los mecanismos reguladores homeostáticos fracasan bajo la presión de factores genéticos o ambientales, infección o traumatismo, aparecen los síntomas de los trastornos neurológicos. Puesto que el sistema nervioso tiene funciones variadas y complejas, los síntomas de los trastornos neurológicos son igualmente diversos. Sin embargo, hay unos pocos síntomas que acompañan a una gran variedad de trastornos:

- La **cefalea** parece ser una experiencia universal y un 70% de la población refiere al menos una cefalea al año. Casi todas las personas han sufrido una cefalea en algún momento. La mayor parte de las cefaleas no requieren consultar al neurólogo. La mayoría son *cefaleas de tipo tensional* con dolor moderado que es opresivo o como un agarrotamiento, poco localizado, y se piensa que es debido a tensión muscular, como contractura en los músculos del cuello. El desencadenante de las cefaleas de tipo tensional probablemente incluye una combinación de factores, pero se implican más frecuentemente las contracciones mantenidas de los músculos cervicales y faciales. Las cefaleas tensionales pueden durar días o pueden aparecer a diario durante períodos más largos. Algunas cefaleas tensionales pueden acompañar a la depresión o ansiedad grave. Las cefaleas de tipo tensional no tienen las características asociadas que definen las *cefaleas migrañosas:* dolor intenso, pulsátil, a menudo unilateral, sensibilidad a la luz y náuseas o vómitos. Las cefaleas migrañosas tienen un origen tanto neurológico como cardiovascular. Estos trastornos raramente se asocian a problemas de riesgo vital. Otras cefaleas se desarrollan secundariamente debido a los siguientes problemas:
  1. Trastornos del SNC, como infecciones (meningitis, encefalitis, rabia) o tumores cerebrales.
  2. Traumatismos, como hemorragia craneal.
  3. Trastornos cardiovasculares, como un ictus.
  4. Alteraciones metabólicas, como una disminución del azúcar en sangre.
- **Debilidad muscular.** La debilidad muscular puede tener una base neurológica subyacente. El examinador debe determinar la causa primaria del síntoma para seleccionar el tratamiento más eficaz. Las miopatías (trastornos musculares) deben diferenciarse de enfermedades neurológicas como los trastornos desmielinizantes, la disfunción de la sinapsis neuromuscular y la lesión del nervio periférico.
- **Parestesias.** La pérdida de sensibilidad, el entumecimiento o la sensación de hormigueo pueden desarrollarse después de la afectación de: 1) un nervio sensitivo (nervio craneal o espinal), o 2) las vías sensitivas del sistema nervioso central (SNC). Los efectos pueden ser temporales o permanentes. Por ejemplo, la *parálisis por presión* puede durar unos pocos minutos, mientras que las parestesias que se desarrollan distalmente a un área de daño grave de la médula espinal probablemente serán permanentes.

responsables de la transferencia y procesamiento de la información en el sistema nervioso. La estructura de la neurona se presentó en el capítulo 3 [p. 77]. Una neurona representativa (v. figura 13.3) tiene un **cuerpo celular** o *soma*. La región alrededor del núcleo se denomina **pericarion** (*karyon*, núcleo). El cuerpo celular generalmente tiene varias **dendritas** ramificadas. Las dendritas típicas están muy ramificadas, y cada rama tiene finas prolongaciones denominadas *espinas dendríticas*. En el SNC, una neurona recibe información de otras neuronas principalmente en las **espinas dendríticas** que representan un 80%-90% de su superficie total.

El cuerpo celular está unido a un **axón** alargado que termina en una o más **terminaciones sinápticas.** En cada terminación sináptica la neurona se comunica con otra célula. El soma contiene los orgánulos responsables de la producción de energía y de la biosíntesis de moléculas orgánicas, como las enzimas.

Las células de soporte, o **neuroglia** (*glia*, pegamento), aíslan las neuronas proporcionando una estructura de soporte para el tejido nervioso, ayudan a mantener el entorno intercelular y actúan como fagocitos. El tejido nervioso del organismo contiene aproximadamente 100.000 millones de células de la neuroglia o **células gliales,** lo que supone aproximadamente cinco veces el número de neuronas. Las células gliales son más pequeñas que las neuronas y conservan la capacidad de dividirse, una capacidad que han perdido la mayoría de las neuronas. En conjunto, la neuroglia supone aproximadamente la mitad del volumen del sistema nervioso. Existen diferencias significativas de organización entre el tejido nervioso del SNC y el del SNP, fundamentalmente debido a diferencias en las poblaciones de células gliales.

Neuroglia [v. figura 13.4]

La mayor variedad de células gliales se encuentra en el sistema nervioso central. La figura 13.4 compara las funciones de las principales poblaciones de células gliales del SNC y del SNP.

Neuroglia del SNC [v. figuras 13.4 a 13.6]

En el sistema nervioso central se encuentran cuatro tipos de células gliales: *astrocitos, oligodendrocitos, microglia* y *células ependimarias*. Estos tipos celulares pueden distinguirse basándose en su tamaño, organización intracelular y en la presencia de prolongaciones citoplasmáticas específicas (v. figuras 13.4 a 13.6).

Astrocitos [v. figuras 13.4/13.5] Las células gliales más grandes y numerosas son los astrocitos (*astro-*, estrella + *cyto*, célula) (v. figuras 13.4 y 13.5). Los astrocitos realizan varias funciones, pero muchas son poco conocidas. Estas funciones pueden resumirse como sigue:

- **Control del entorno intersticial:** Estructuralmente, los astrocitos tienen un gran número de prolongaciones citoplasmáticas. Estas prolongaciones incrementan significativamente la superficie de la célula, lo que facilita el intercambio de iones y otras moléculas con el líquido extracelular en el SNC. Este intercambio de iones y otras moléculas con el líquido extracelular permite a los astrocitos controlar el contenido químico del entorno intersticial del SNC. Estas prolongaciones citoplasmáticas también contactan con las superficies neuronales, a menudo envolviendo a toda la neurona. Esta envoltura aísla las neuronas de los cambios en la composición química del espacio intersticial del SNC.
- **Mantenimiento de la barrera hematoencefálica:** El tejido nervioso debe estar física y bioquímicamente aislado de la circulación general porque las hormonas u otras sustancias químicas normalmente presentes en la sangre podrían tener efectos perjudiciales sobre la función neuronal. Las células endoteliales que recubren los capilares del SNC tienen unas características de permeabilidad muy limitadas que controlan el intercambio químico entre la sangre y el líquido intersticial. Son responsables de la **barrera hematoencefálica (BHE),** que aísla el SNC de la circulación general. Muchas de las prolongaciones citoplasmáticas de los astrocitos, denominadas «pies» de los astrocitos, contactan con la superficie de los capilares y cubren la mayor parte de su superficie en el sistema nervioso central. Esta capa citoplasmática alrededor de los capilares sólo está interrumpida donde otras células gliales contactan con las paredes capilares. Las sustancias químicas secretadas por los astrocitos son esenciales para el *mantenimiento de la barrera hematoencefálica* (la barrera hematoencefálica se tratará posteriormente en el capítulo 15).
- **Creación de una estructura tridimensional para el SNC:** Los astrocitos están llenos de microfilamentos que se extienden a lo ancho de la célula. Este refuerzo proporciona resistencia mecánica y los astrocitos forman un armazón estructural que da soporte a las neuronas del cerebro y la médula espinal.
- **Realización de reparaciones en el tejido nervioso dañado:** Después de una lesión del SNC, los astrocitos realizan reparaciones estructurales que estabilizan el tejido y previenen una lesión adicional por la producción de tejido cicatricial en el lugar de afectación.
- **Orientación del desarrollo neuronal:** En el cerebro embrionario, los astrocitos parecen estar implicados en dirigir el crecimiento y la interconexión de las neuronas en desarrollo a través de la secreción de sustancias químicas conocidas como *factores neurotrópicos*.

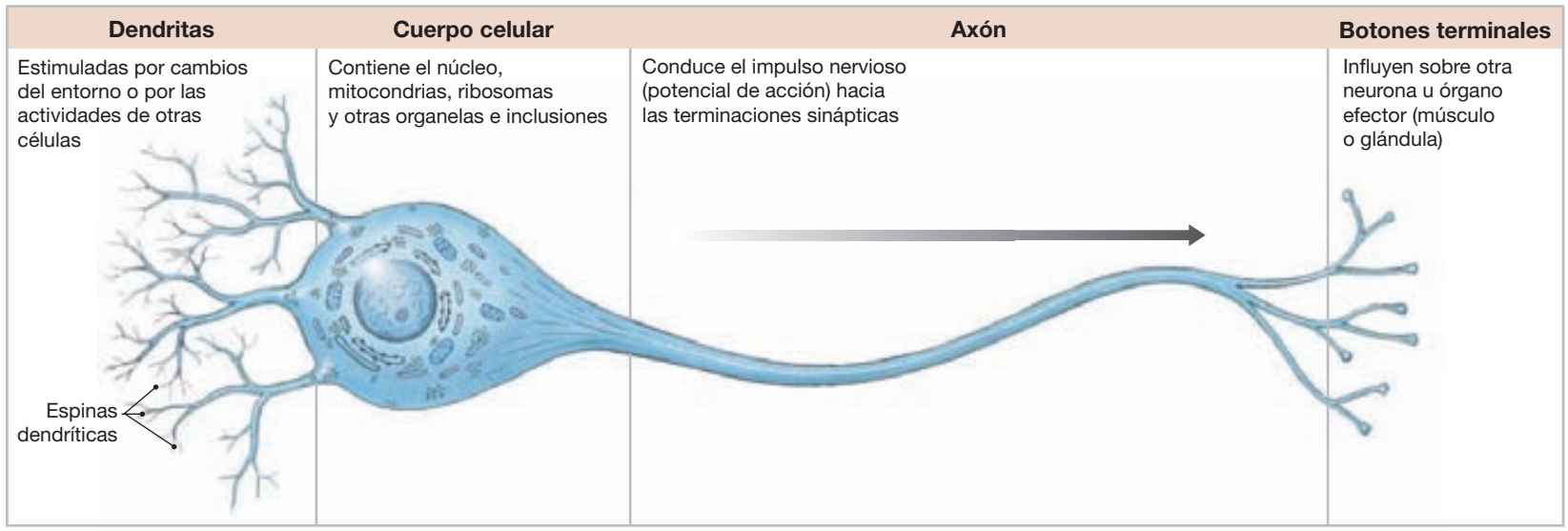

Dendritas
Cuerpo celular
Axón
Botones terminales
Estimuladas por cambios del entorno o por las actividades de otras células
Contiene el núcleo, mitocondrias, ribosomas y otras organelas e inclusiones
Conduce el impulso nervioso (potencial de acción) hacia las terminaciones sinápticas
Influyen sobre otra neurona u órgano efector (músculo o glándula)
Espinas dendríticas

Figura 13.3 Revisión de la estructura neuronal
La relación entre las cuatro partes de una neurona (dendritas, cuerpo celular, axón y terminaciones sinápticas); se muestran las actividades funcionales de cada parte y la dirección normal de conducción del potencial de acción.

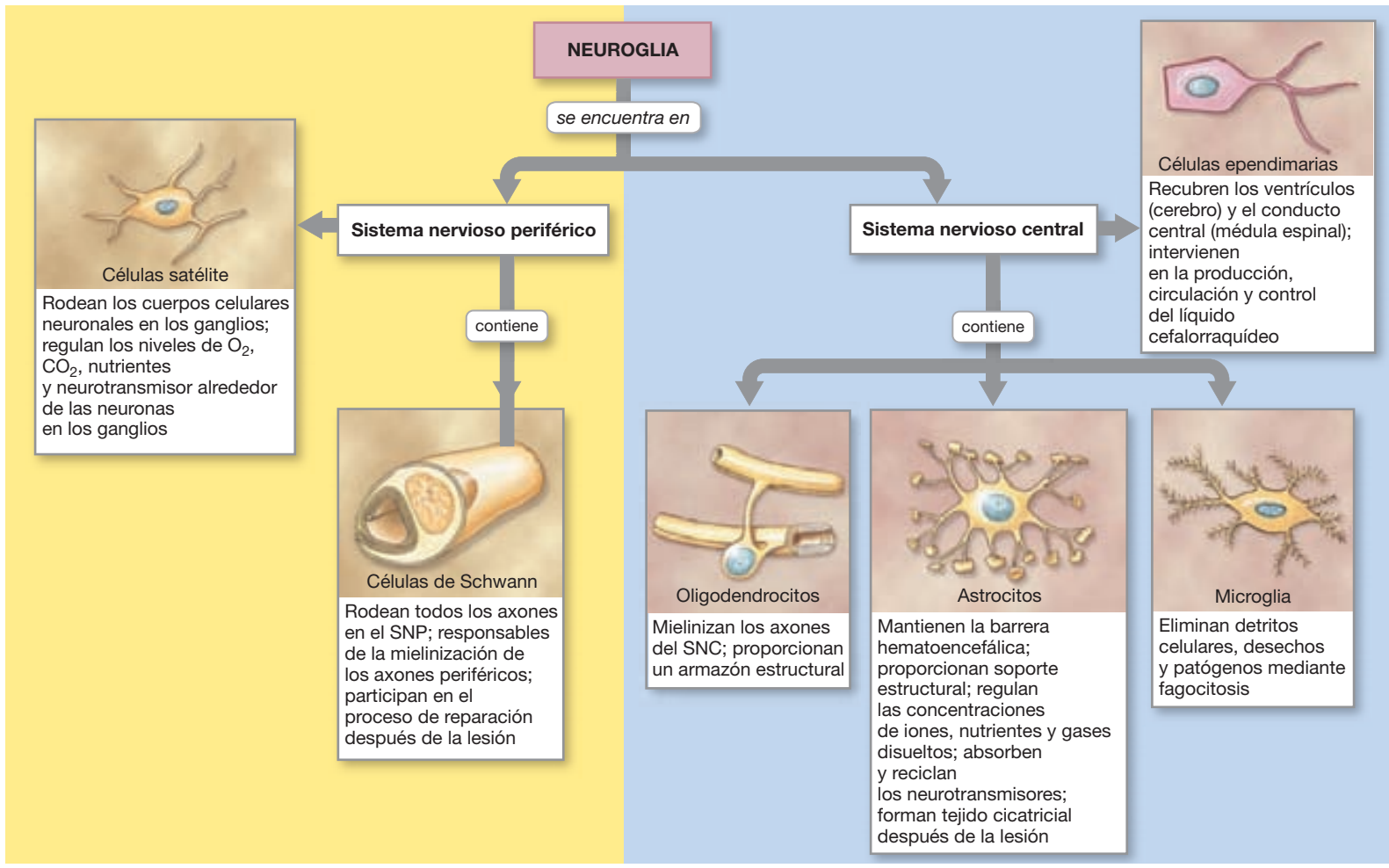

NEUROGLIA
se encuentra en
Sistema nervioso periférico
Sistema nervioso central
Células satélite
Rodean los cuerpos celulares neuronales en los ganglios; regulan los niveles de O_2, CO_2, nutrientes y neurotransmisor alrededor de las neuronas en los ganglios
contiene
Células de Schwann
Rodean todos los axones en el SNP; responsables de la mielinización de los axones periféricos; participan en el proceso de reparación después de la lesión
contiene
Células ependimarias
Recubren los ventrículos (cerebro) y el conducto central (médula espinal); intervienen en la producción, circulación y control del líquido cefalorraquídeo
Oligodendrocitos
Mielinizan los axones del SNC; proporcionan un armazón estructural
Astrocitos
Mantienen la barrera hematoencefálica; proporcionan soporte estructural; regulan las concentraciones de iones, nutrientes y gases disueltos; absorben y reciclan los neurotransmisores; forman tejido cicatricial después de la lesión
Microglia
Eliminan detritos celulares, desechos y patógenos mediante fagocitosis

Figura 13.4 Clasificación de la neuroglia
En este organigrama se resumen los grupos y funciones de los diferentes tipos de células gliales.

Oligodendrocitos [v. figuras 13.4/13.5] Una segunda célula glial que se encuentra en el SNC es el oligodendrocito (*oligo*, pocos). Esta célula recuerda al astrocito sólo en que ambos poseen extensiones citoplasmáticas finas. Sin embargo, los oligodendrocitos tienen cuerpos celulares más pequeños y prolongaciones citoplasmáticas más escasas y más cortas (**v. figuras 13.4** y **13.5**). Las prolongaciones de los oligodendrocitos generalmente contactan con los axones o los cuerpos celulares de las neuronas. Las prolongaciones de los oligodendrocitos vinculan entre sí racimos de axones y mejoran el rendimiento funcional de las neuronas al envolver los axones en *mielina*, una sustancia con propiedades aislantes. Las funciones de las prolongaciones que terminan en los cuerpos celulares aún están por determinarse.

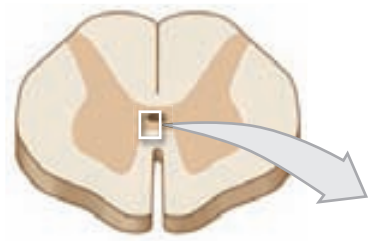
Muchos axones del SNC están completamente envueltos por las prolongaciones de los oligodendrocitos. Cerca del extremo de cada prolongación, el plasmalema se expande para formar una almohadilla aplanada que envuelve el axón (**v. figura 13.5**). Esto crea una vaina membranosa con múltiples capas compuesta fundamentalmente de fosfolípidos. Esta cubierta membranosa se denomina **mielina** y se dice que el axón está **mielinizado.** La mielina mejora la velocidad a la que se conduce el potencial de acción, o *impulso nervioso*, a lo largo del axón. No todos los axones en el SNC están mielinizados. En el SNC, los axones **no mielinizados** pueden estar cubiertos de forma incompleta por las prolongaciones de los oligodendrocitos gliales.

En la formación de la vaina de mielina a lo largo de toda la longitud de un axón mielinizado colaboran muchos oligodendrocitos. Las áreas relativamente grandes envueltas en mielina se denominan **internódulos** (*inter*, entre). Existen pequeños espacios que se encuentran entre las vainas de mielina producidas por los oligodendrocitos adyacentes, denominados **espacios de la vaina de mielina** o *nódulos de Ranvier*. Cuando se diseccionan, los axones mielinizados tienen un aspecto blanco brillante, principalmente debido a la presencia de lípidos. Las regiones con predominio de axones mielinizados constituyen la **sustancia blanca** del SNC. Por el contrario, las regiones con predominio de cuerpos celulares neuronales, dendritas y axones no mielinizados se denominan **sustancia gris** debido a su color gris oscuro.

Microglia [v. figuras 13.4/13.5] Las células gliales más pequeñas poseen prolongaciones citoplasmáticas delgadas con ramas muy finas (**v. figuras 13.4** y **13.5**). Estas células, denominadas **microglia** aparecen precozmente en el desarrollo embrionario a partir de la división de las células madre mesodérmicas. Las células madre que producen la microglia se relacionan con las que producen los macrófagos tisulares y monocitos de la sangre. La microglia migra al SNC a medida que se forma y posteriormente permanece en el tejido nervioso actuando como fuerza de seguridad ambulante. La microglia son las células fagocíticas del SNC que engloban los detritos celulares, productos de desecho y patógenos. Durante la infección o lesión, el número de células de la microglia aumenta espectacularmente. Aproximadamente el 5% de las células gliales del SNC son microglia, pero en casos de infección o lesión este porcentaje se incrementa de forma espectacular.

Células ependimarias [v. figuras 13.4/13.5/13.6] Los ventrículos del cerebro y el conducto central de la médula espinal están recubiertos por una capa celular denominada **epéndimo** (**v. figuras 13.4** y **13.5**). Estas cámaras y conductos están llenos de **líquido cefalorraquídeo (LCR).** Este líquido, que también rodea el cerebro y la médula espinal, proporciona una amortiguación protectora y transporta gases, nutrientes, desechos y otras sustancias disueltas. La composición, formación y circulación del LCR se tratarán en el capítulo 15.

Las **células ependimarias** tienen forma entre cúbica y cilíndrica. Al contrario que las células epiteliales típicas, las células ependimarias tienen prolon-



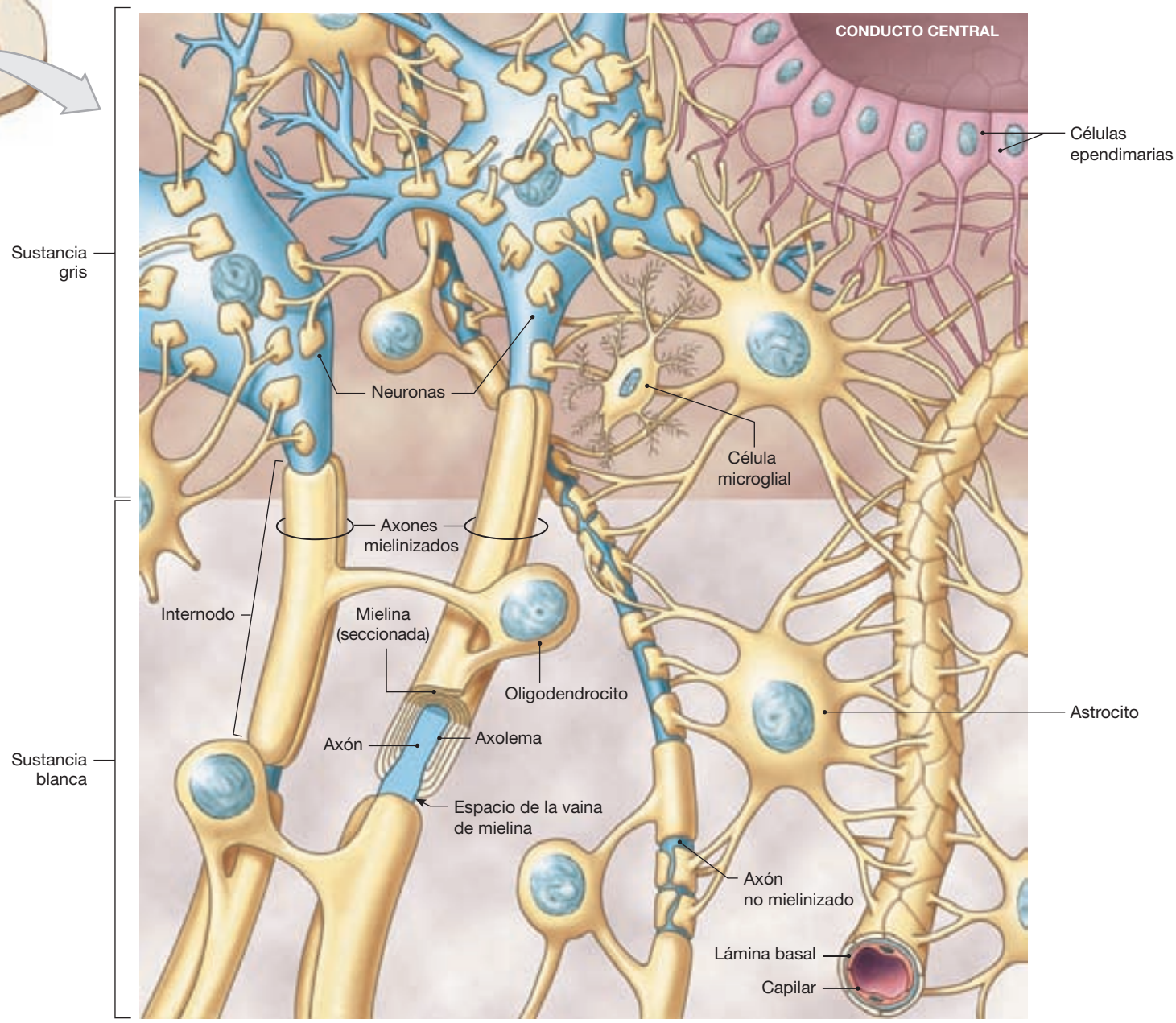


Figura 13.5 Histología del tejido nervioso del SNC
Vista esquemática del tejido nervioso de la médula espinal, que muestra las relaciones entre las neuronas y las células gliales.

gaciones delgadas que se ramifican de forma extensa y contactan directamente con las células gliales del tejido nervioso circundante (v. figura 13.6a). Las pruebas experimentales sugieren que las células ependimarias pueden actuar como receptores que controlan la composición del LCR. Durante el desarrollo y la primera infancia, las superficies libres de las células ependimarias están cubiertas por cilios. En el adulto, los cilios pueden persistir en las células ependimarias que recubren los ventrículos cerebrales (v. figura 13.6b), pero el epéndimo de otras localizaciones generalmente sólo tiene microvellosidades dispersas. Las células ependimarias ciliadas pueden colaborar en la circulación del LCR. En los ventrículos, las células ependimarias especializadas participan en la secreción del líquido cefalorraquídeo.

Neuroglia del SNP

Los cuerpos celulares de las neuronas del SNP generalmente se agrupan en masas denominadas **ganglios**. Los axones forman haces que están envueltos por tejido conjuntivo formando los **nervios periféricos,** o simplemente *nervios*. Todos los cuerpos celulares neuronales y axones del SNP están completamente aislados de sus alrededores por las prolongaciones de las células gliales. Los dos tipos de células gliales implicadas se denominan *células satélite* y *células de Schwann*.

Células satélite [v. figura 13.7] Los cuerpos celulares de las neuronas en los ganglios periféricos están rodeados por **células satélite** (v. figura 13.7). Las células satélite regulan el intercambio de nutrientes y productos de desecho entre el cuerpo celular neuronal y el líquido extracelular. También ayudan a aislar la neurona de estímulos diferentes a los que se aportan en las sinapsis.

Células de Schwann [v. figura 13.4/13.8] Cada axón periférico, esté o no mielinizado, está cubierto por **células de Schwann,** o *neurolemocitos*. El plasmalema de un axón se denomina **axolema** (*lemma*, cáscara); la cubierta citoplasmática superficial que proporciona la célula de Schwann se denomina **neurilema.** La relación física entre una célula de Schwann y un axón periférico

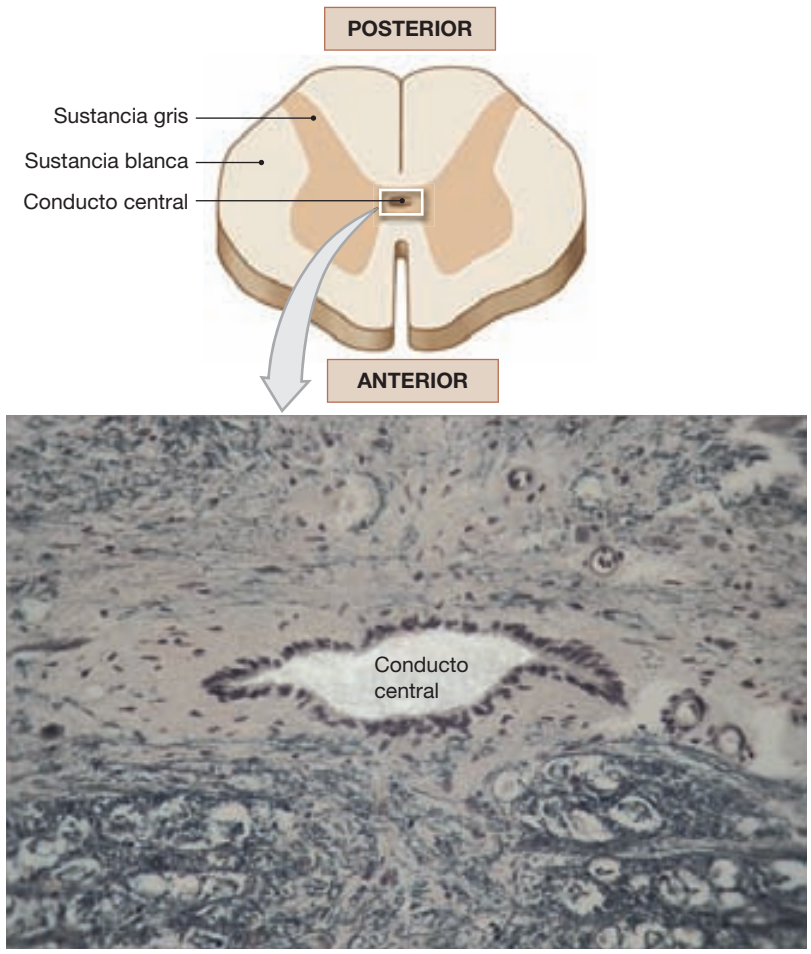


Figura 13.6 Epéndima
El epéndima es una capa celular que recubre los ventrículos cerebrales y el conducto central de la médula espinal. **(a)** Microfotografía óptica que muestra el recubrimiento ependimario del conducto central (MO × 257). La vista esquemática de la organización ependimaria se basa en la información que proporciona el microscopio electrónico. **(b)** MEB de la superficie ciliada del epéndima de uno de los ventrículos (Ci = cilios; MEB × 1.825). [© R. G. Kessel y R. H. Kardon, «Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy,» W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.]

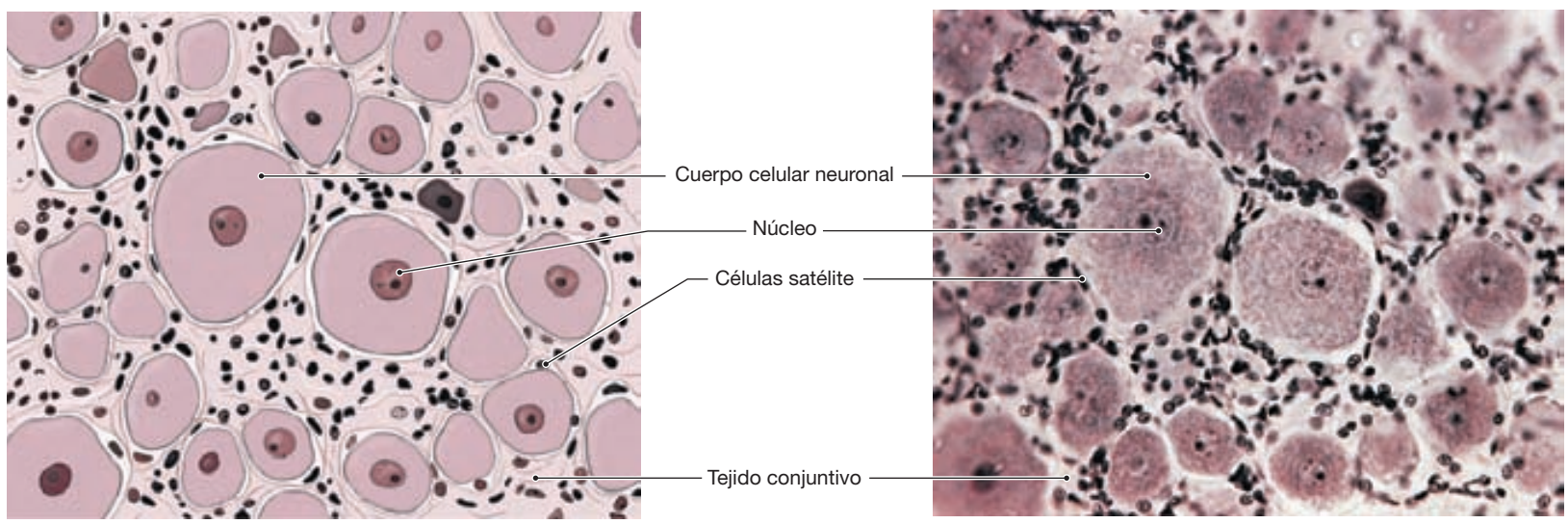


Figura 13.7 Células satélite y neuronas periféricas
Las células satélite rodean los cuerpos celulares de las neuronas en los ganglios periféricos (MO × 20).

mielinizado difiere de la de un oligodendrocito y un axón mielinizado en el SNC. Una célula de Schwann sólo puede mielinizar aproximadamente 1 mm de la longitud de un único axón. En cambio, un oligodendrocito puede mielinizar porciones de varios axones (compárense las células de Schwann, **figura 13.8a**, con los oligodendrocitos, **figura 13.5**, p. 346). Aunque el mecanismo de mielinización es diferente, tanto los axones mielinizados en el SNC como en el SNP tienen espacios de la vaina de mielina e internodos, y la presencia de mielina –en cualquier caso formada– incrementa la velocidad de conducción del impulso nervioso. Los axones no mielinizados están envueltos por las prolongaciones de las células de Schwann, pero la relación es simple y no se forma mielina. Un única célula de Schwann puede rodear varios axones no mielinizados diferentes, como se muestra en la **figura 13.8b**.

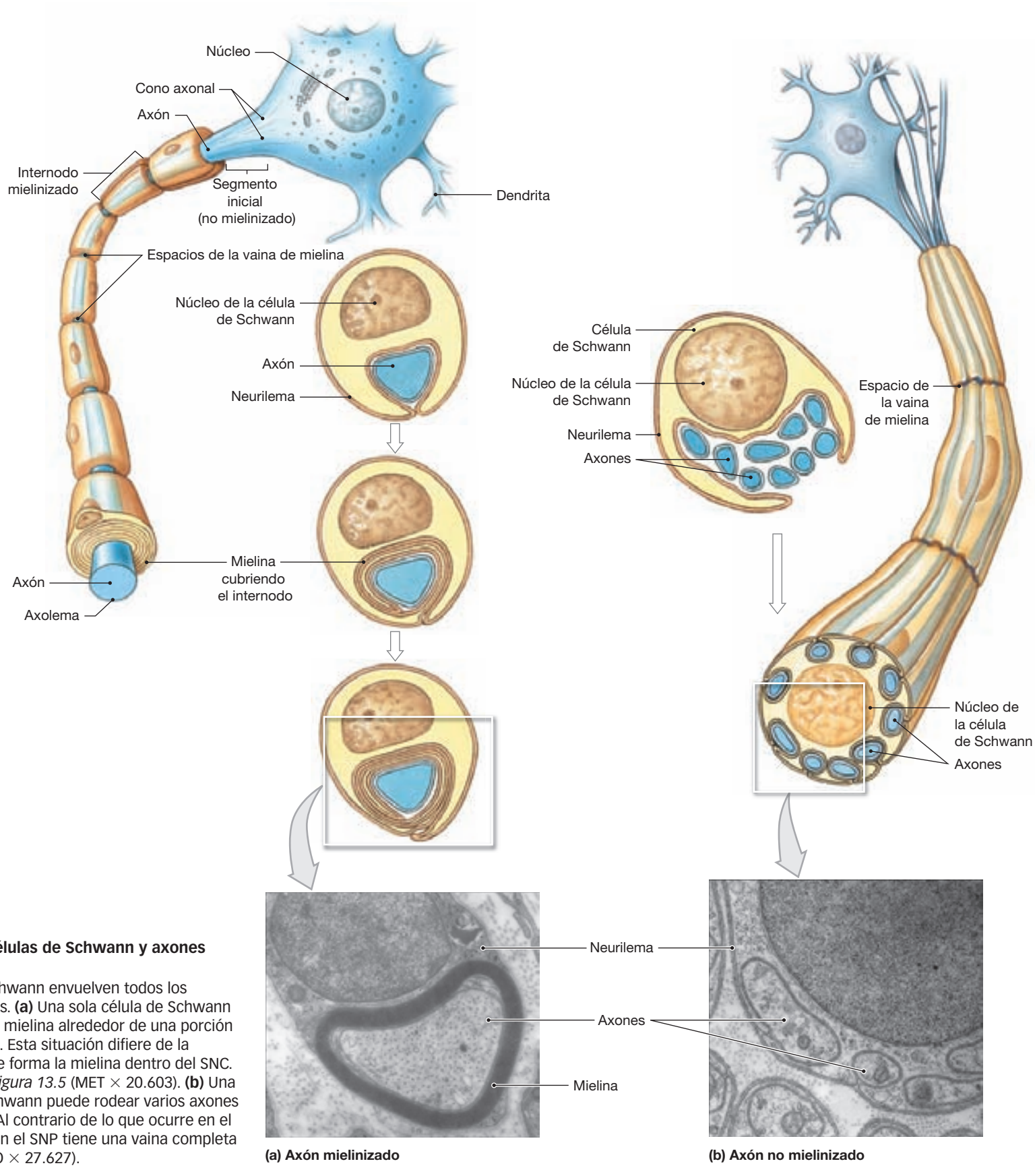
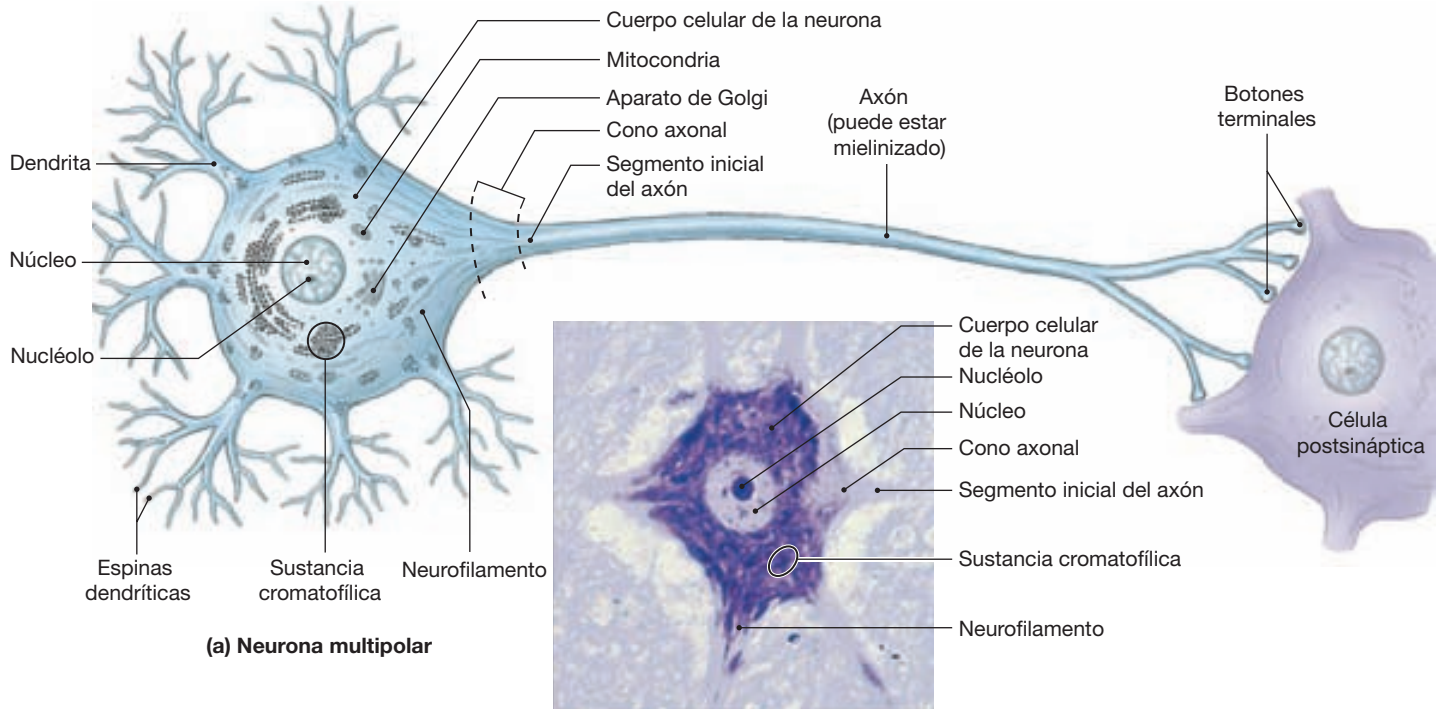


Figura 13.8 Células de Schwann y axones periféricos

Las células de Schwann envuelven todos los axones periféricos. **(a)** Una sola célula de Schwann forma la vaina de mielina alrededor de una porción de un único axón. Esta situación difiere de la manera en que se forma la mielina dentro del SNC. *Compárese con figura 13.5* (MET × 20.603). **(b)** Una sola célula de Schwann puede rodear varios axones no mielinizados. Al contrario de lo que ocurre en el SNC, cada axón en el SNP tiene una vaina completa de neurilema (MO × 27.627).



(a) Neurona multipolar

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique las dos subdivisiones anatómicas del sistema nervioso.
2. ¿Qué dos términos se utilizan para referirse a las células de soporte del tejido nervioso?
3. Específicamente, ¿qué células ayudan a mantener la barrera hematoencefálica?
4. ¿Cuál es el nombre de la cubierta membranosa que forman los oligodendrocitos alrededor de los axones?
5. Identifique las células del sistema nervioso periférico que forman una cubierta alrededor de los axones.

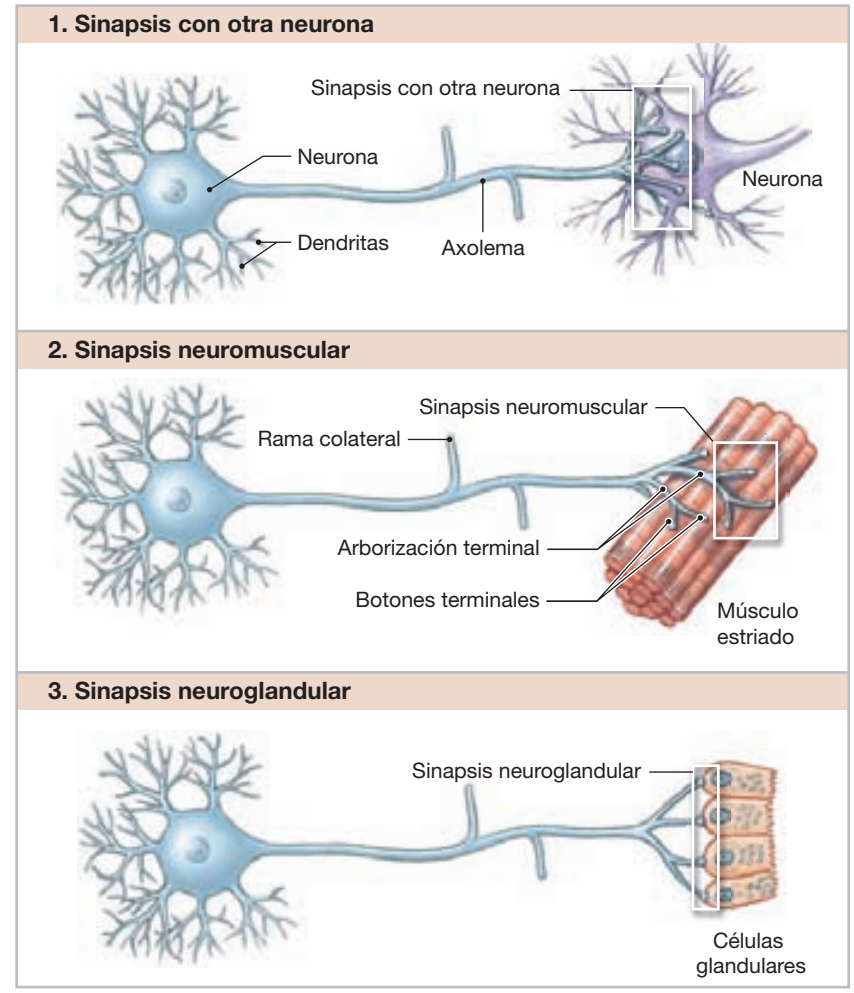
Véase «Respuestas» al final del libro.

Neuronas [v. figura 13.9]

El cuerpo celular de una neurona representativa contiene un núcleo relativamente grande y redondeado con un nucléolo prominente (**v. figura 13.9a**). El citoplasma circundante constituye el *pericarion* (*karyon*, núcleo). El citoesqueleto del pericarion contiene **neurofilamentos** y **neurotúbulos**. Los haces de neurofilamentos, denominados **neurofibrillas**, son elementos del citoesqueleto que se extienden a lo largo de las dendritas y el axón.

El pericarion contiene orgánulos que proporcionan energía y realizan actividades biosintéticas. Las numerosas mitocondrias, los ribosomas libres y fijos y las membranas del retículo endoplásmico rugoso (REG) dan al pericarion un aspecto áspero y granular. Las mitocondrias generan ATP para satisfacer las altas demandas de energía de la neurona activa. Los ribosomas y el REG sintetizan péptidos y proteínas. Existen grupos de ribosomas fijos y libres en gran número. Estas agrupaciones de ribosomas se denominan *sustancia cromatofílica* o *cuerpos de Nissl*. La sustancia cromatofílica da el color gris a las áreas que contienen cuerpos celulares neuronales –la *sustancia gris* que se observa en la disección macroscópica del cerebro o la médula espinal–.

La mayor parte de las neuronas carecen del complejo del *centrosoma* [pp. 36-37]. En otras células, los centríolos del centrosoma forman las fibras en huso que desplazan los cromosomas durante la división de la célula. Las neuronas generalmente pierden sus centríolos durante la diferenciación y se vuel-



(b)

Figura 13.9 Anatomía de una neurona representativa
Una neurona tiene un cuerpo celular (soma), algunas dendritas ramificadas y un único axón. **(a)** Organización esquemática de la neurona (MO × 1.600). **(b)** Una neurona puede inervar: 1) otras neuronas; 2) las fibras del músculo estriado, o 3) las células glandulares. En cada ejemplo se muestran las sinapsis en recuadros. Una única neurona no inervaría los tres.

ven incapaces de sufrir división celular. Si estas neuronas especializadas se pierden posteriormente por una lesión o una enfermedad, no pueden ser reemplazadas.

La permeabilidad del neurilema de las dendritas y el cuerpo celular puede cambiar por la exposición a estímulos químicos, mecánicos o eléctricos. Una de las funciones fundamentales de las células gliales es limitar el número o el tipo de estímulos que afectan a las neuronas individuales. Las prolongaciones de las células gliales cubren la mayor parte de la superficie del cuerpo celular y las dendritas, excepto donde existen terminaciones sinápticas o donde las dendritas funcionan como receptores sensitivos, controlando las condiciones del entorno extracelular. La exposición a estímulos adecuados puede producir un cambio localizado en el potencial transmembrana y conducir a la generación de un potencial de acción en el axón. El *potencial transmembrana* es una propiedad resultante de la distribución desigual de los iones a través del neurilema. Examinaremos los potenciales transmembrana y los potenciales de acción posteriormente en este capítulo.

Un axón, o *fibra nerviosa,* es una larga prolongación citoplasmática capaz de propagar un potencial de acción. En una neurona multipolar, una región especializada, el **cono axonal** conecta el **segmento inicial** del axón con el soma. El **axoplasma,** o citoplasma del axón, contiene neurofibrillas, neurotúbulos, numerosas vesículas pequeñas, lisosomas, mitocondrias y varias enzimas. Un axón puede ramificarse a lo largo de su longitud, produciendo ramas laterales denominadas **colaterales.** El tronco principal y las colaterales terminan en una serie de finas extensiones terminales denominadas **arborizaciones terminales** o *telodendrias* (*telo*, final + *dendron*, árbol) (**v. figura 13.9b**). Las arborizaciones terminales finalizan en una **terminación sináptica,** donde la neurona contacta con otra neurona o con un efector. El *transporte axoplásmico* es el movimiento de las orgánulos, nutrientes, moléculas sintetizadas y productos de desecho entre el cuerpo celular y las terminaciones sinápticas. Este es un proceso complejo que consume energía y depende del movimiento a lo largo de las neurofibrillas del axón y sus ramas.

Cada terminación sináptica forma parte de una **sinapsis,** un lugar especializado donde la neurona se comunica con otra célula (**v. figura 13.9b**). La estructura de la terminación sináptica varía con el tipo de célula postsináptica. Una relativamente sencilla, el **botón terminal** redondo o *botón sináptico,* se encuentra cuando una neurona sinapta con otra. La terminación sináptica que se encuentra en la *sinapsis neuromuscular* o *unión neuromuscular*, donde una neurona contacta con una fibra muscular estriada, es mucho más compleja [pp. 239, 246]. La comunicación sináptica con más frecuencia implica la liberación de sustancias químicas específicas denominadas **neurotransmisores.** La liberación de estas sustancias químicas está desencadenada por la llegada de un impulso nervioso; en un apartado posterior se proporcionan detalles adicionales.

Clasificación de la neurona

Los miles de millones de neuronas del sistema nervioso muestran una morfología bastante variable. Las neuronas pueden clasificarse basándose en: 1) su estructura, o 2) su función.

Clasificación estructural de las neuronas [v. figura 13.10]

La clasificación estructural se basa en el número de prolongaciones que se proyectan desde el cuerpo celular (**v. figura 13.10**).

- Las **neuronas anaxónicas** son pequeñas y no existen claves anatómicas para distinguir las dendritas de los axones (**v. figura 13.10a**). Las neuronas anaxónicas se encuentran sólo en el SNC y en los órganos especiales de los sentidos y sus funciones son poco conocidas.
- Las **neuronas bipolares** tienen varias dendritas finas que se fusionan para formar una única dendrita. El cuerpo celular se encuentra entre esta dendrita y un único axón (**v. figura 13.10b**). Las neuronas bipolares son relativamente raras pero tienen un papel importante en la transmisión de la información sensitiva relacionada con la visión, el olfato y la audición. Sus axones no están mielinizados.

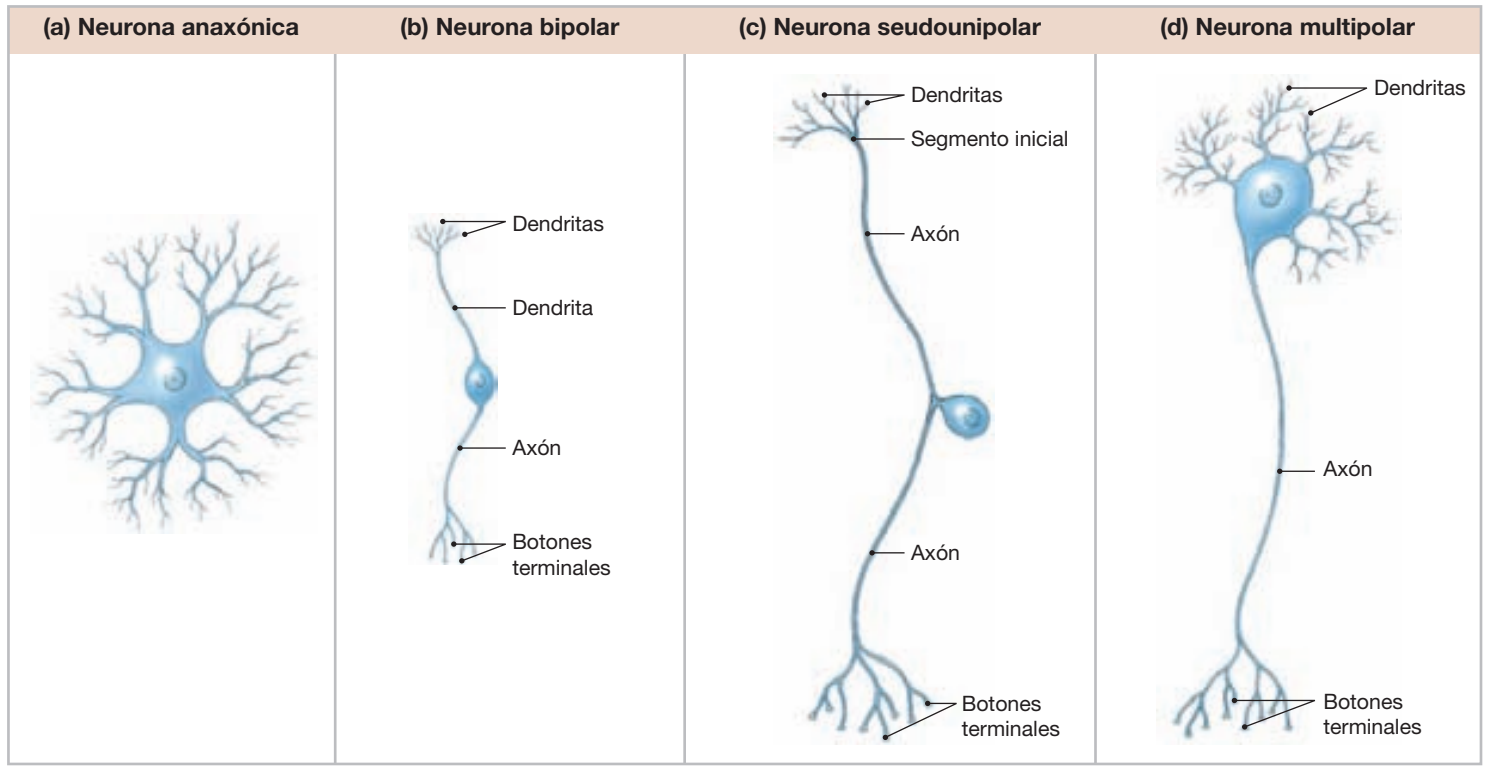


Figura 13.10 Clasificación estructural de las neuronas
Esta clasificación se basa en la situación del cuerpo celular y el número de prolongaciones asociadas. **(a)** Las neuronas anaxónicas tienen más de dos prolongaciones, pero los axones no pueden distinguirse de las dendritas. **(b)** Las neuronas bipolares tienen dos prolongaciones separadas por el cuerpo celular. **(c)** Las neuronas seudounipolares tienen una única prolongación alargada, con el cuerpo celular situado a un lado. **(d)** Las neuronas multipolares tienen más de dos prolongaciones; existen un único axón y múltiples dendritas.

- Las **neuronas seudounipolares** tienen prolongaciones dendríticas y axonales continuas y el cuerpo celular se encuentra a un lado. En estas neuronas el segmento inicial se sitúa en la base de las ramas dendríticas (**v. figura 13.10c**) y el resto de la prolongación se considera como un axón tanto estructural como funcionalmente. Las neuronas sensitivas del sistema nervioso periférico generalmente son seudounipolares, y sus axones pueden estar mielinizados.
- Las **neuronas multipolares** tienen varias dendritas y un único axón que puede tener una o más ramas (**v. figura 13.10d**). Las neuronas multipolares son el tipo de neurona más frecuente en el SNC. Por ejemplo, todas las neuronas motoras que controlan los músculos estriados son neuronas multipolares con axones mielinizados.

Clasificación funcional de las neuronas [v. figura 13.11] Las neuronas pueden clasificarse en tres grupos funcionales: 1) *neuronas sensitivas;* 2) *neuronas motoras,* e 3) *interneuronas*. Sus relaciones se esquematizan en la **figura 13.11**.

Casi todas las **neuronas sensitivas** son neuronas seudounipolares con sus cuerpos celulares localizados fuera del SNC en los ganglios sensitivos periféricos. Forman la *división aferente* del SNP. Su función es transmitir la información al SNC. Los axones de las neuronas sensitivas, denominados **fibras aferentes,** se extienden entre un receptor sensitivo y la médula espinal o el cerebro. Las neuronas sensitivas recogen la información relacionada con el entorno externo o interno. Existen aproximadamente 10 millones de neuronas sensitivas. Las **neuronas sensitivas somáticas** transmiten información acerca del mundo exterior y nuestra posición en él. Las **neuronas sensitivas viscerales** transmiten información acerca de las condiciones internas y el estado de otros sistemas orgánicos.

Los *receptores* pueden ser las prolongaciones de neuronas sensitivas especializadas o bien células controladas por las neuronas sensitivas. Los receptores se agrupan de forma amplia como sigue:

- Los **exterorreceptores** (*extero-*, fuera) proporcionan información acerca del entorno externo en forma de sensibilidad al tacto, temperatura y presión y de los *sentidos especiales* más complejos de la vista, el olfato y el oído.
- Los **propiorreceptores** controlan la posición y el movimiento de los músculos estriados y las articulaciones.
- Los **interorreceptores** (*intero-*, dentro) controlan los aparatos digestivo, respiratorio, cardiovascular, urinario y reproductor y transmiten la sensibilidad a la presión profunda y al dolor, así como la gustativa, otro sentido especial.

Los datos de los exterorreceptores y propiorreceptores son transportados por las neuronas sensitivas somáticas. La información interoceptiva es transportada por las neuronas sensitivas viscerales.

Las neuronas multipolares que forman la división eferente del sistema nervioso son las **neuronas motoras.** Una neurona motora estimula o modifica la actividad de un tejido, órgano o sistema orgánico periférico. En el organismo se encuentran aproximadamente medio millón de neuronas motoras. Los axones que salen del SNC se denominan **fibras eferentes.** Las dos divisiones eferentes del SNP –el sistema nervioso somático (SNS) y el sistema nervioso autónomo (SNA)– difieren en la forma en que inervan a los efectores periféricos. El SNS incluye todas las neuronas motoras somáticas que inervan los músculos estriados. Los cuerpos celulares de estas neuronas motoras se encuentran en el interior del SNC y sus axones se extienden hasta las sinapsis neuromusculares que controlan los músculos estriados. La mayoría de las actividades del SNS están controladas de forma consciente.

El sistema nervioso autónomo incluye todas las **neuronas motoras viscerales** que inervan los efectores periféricos diferentes de los músculos estriados. Existen dos grupos de neuronas motoras viscerales: un grupo presenta los cuerpos celulares en el SNC y el otro en los ganglios periféricos. Las neuronas situadas en el SNC controlan las neuronas de los ganglios periféricos y estas neuronas a su vez controlan los efectores periféricos. Los axones que se extienden desde el SNC hasta un ganglio se denominan **fibras preganglionares.** Los axones que conectan las células del ganglio con los efectores periféricos se conocen como **fibras posganglionares.** Esta disposición distingue claramente el

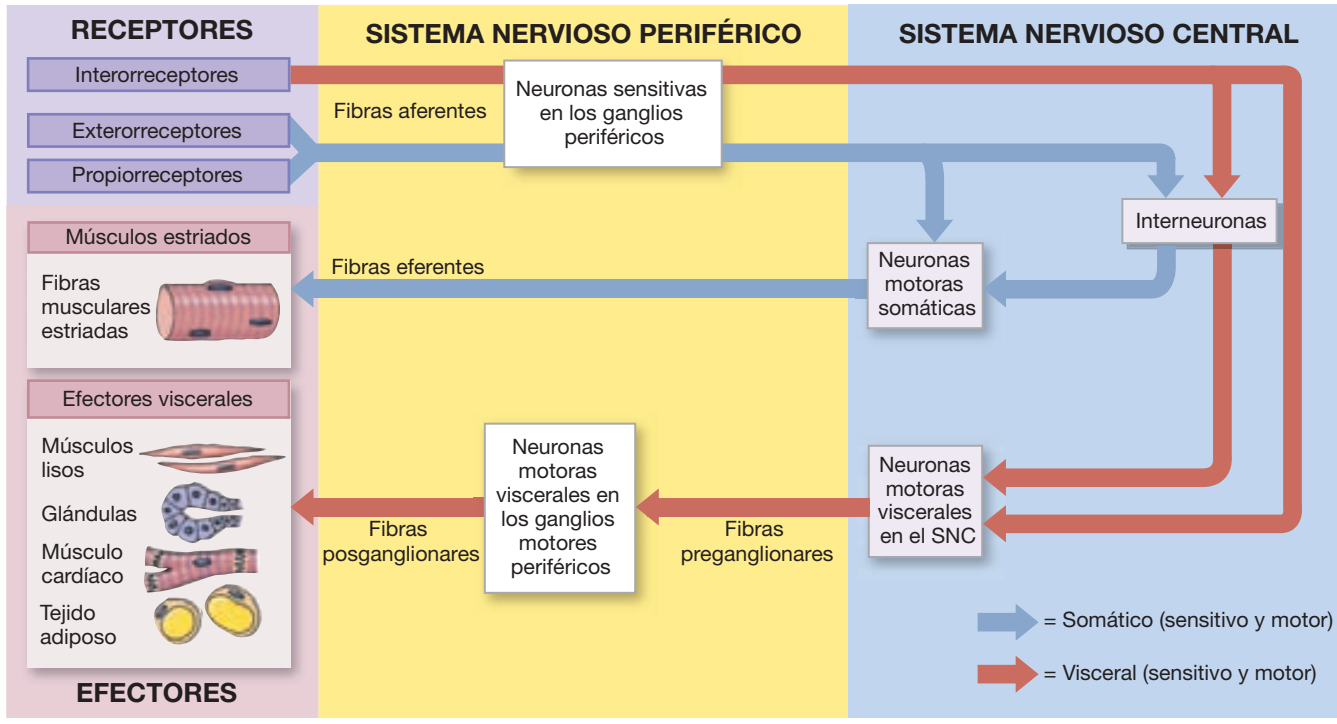


Figura 13.11 Clasificación funcional de las neuronas
Las neuronas se clasifican funcionalmente en tres grupos: 1) neuronas sensitivas que detectan los estímulos en el SNP y envían la información al SNC; 2) neuronas motoras que llevan instrucciones desde el SNC hasta los efectores periféricos, y 3) interneuronas en el SNC que procesan la información sensitiva y coordinan la actividad motora.

Nota clínica

Trastornos desmielinizantes Los trastornos desmielinizantes se caracterizan por un síntoma común: la destrucción de los axones del SNC y el sistema nervioso periférico (SNP). El mecanismo responsable de esta afectación difiere en cada trastorno. Sólo examinaremos los grupos principales:

- **Intoxicación por metales pesados.** La exposición crónica a los iones de los metales pesados, como arsénico, plomo y mercurio, puede conducir a un daño de la neuroglia y a desmielinización. A medida que se produce la desmielinización, los axones afectados se deterioran y el trastorno se hace irreversible. Los historiadores apuntan varios ejemplos de intoxicación por metales pesados con un amplio impacto. Por ejemplo, la contaminación del agua de bebida con plomo se ha citado como un factor de la decadencia del imperio romano. Ya en el siglo XIX, el mercurio utilizado en la preparación del fieltro supuso un serio problema laboral para los empleados en la fabricación de sombreros elegantes. Con el tiempo, el mercurio absorbido por la piel y a través de los pulmones se acumulaba en el SNC, produciendo un daño neurológico que afectaba la función tanto física como mental. (Este efecto es el origen de la expresión «loco como un sombrerero».) En los años cincuenta, los pescadores japoneses y sus familias que trabajaban en la bahía de Minamata, Japón, recogían y consumían pescado contaminado con el mercurio que eliminaba una fábrica química cercana. Los niveles de mercurio en su organismo aumentaron gradualmente hasta un punto en el cual aparecieron síntomas clínicos en cientos de personas. Las mujeres gestantes que consumieron el pescado contaminado con mercurio tuvieron bebés con defectos de nacimiento graves e incapacitantes. Problemas menos graves tienen los niños afectados nacidos de madres del medio oeste de EE. UU. que ingirieron grandes cantidades de pescado durante el embarazo. Como consecuencia, ahora se recomienda a las mujeres embarazadas que limiten el consumo de pescado. (Por razones desconocidas, la carne de algunas especies de peces contiene niveles relativamente elevados de mercurio.)
- **Difteria.** La difteria (*diphthera*, membrana + *-ia*, enfermedad) es una enfermedad que resulta de una infección bacteriana principalmente del aparato respiratorio y ocasionalmente de la piel. En el caso de las infecciones respiratorias, además de restringir el flujo aéreo y dañar las superficies respiratorias, la bacteria produce una potente toxina que lesiona los riñones y las glándulas suprarrenales, entre otros tejidos. En el sistema nervioso, la toxina diftérica lesiona las células de Schwann y destruye las vainas de mielina del SNP. Esta desmielinización conduce a problemas sensitivos y motores que finalmente pueden producir una parálisis fatal. La toxina también afecta a las células del músculo cardíaco al crear problemas en las neuronas del sistema de conducción del corazón. Esto causa latidos cardíacos anormales permanentes que pueden conducir a una insuficiencia cardíaca. La frecuencia de mortalidad para los casos no tratados varía entre 35% y 90%, dependiendo de la localización de la infección y de la subespecie de la bacteria. Puesto que existe una vacuna eficaz (que frecuentemente se combina con la vacuna del tétanos), los casos son relativamente raros en los países con una atención sanitaria adecuada.
- **Esclerosis múltiple.** La esclerosis múltiple (*sklerosis*, dureza), o EM, es una enfermedad caracterizada por episodios recurrentes de desmielinización que afectan a los axones del nervio óptico, el cerebro y la médula espinal. Los síntomas frecuentes incluyen pérdida parcial de visión y problemas del habla, el equilibrio y la coordinación motora general, incluyendo el control del intestino y la vejiga urinaria. El tiempo entre los episodios y el grado de recuperación varían de un caso a otro. En cerca de un tercio de todos los casos el trastorno es progresivo y cada episodio conduce a un grado mayor de afectación funcional. El promedio de edad cuando se produce el primer ataque es de 30-40 años; la incidencia en mujeres es 1,5 veces mayor que en los hombres. En algunos pacientes los corticoesteroides o las inyecciones de interferón han enlentecido la progresión de la enfermedad.

sistema autónomo (motor visceral) del sistema motor somático. Tenemos poco control consciente sobre las actividades del SNA.

Las **interneuronas** pueden estar situadas entre las neuronas sensitivas y motoras. Las interneuronas se localizan en su totalidad en el cerebro y la médula espinal. Superan en número a todas las demás neuronas combinando tanto su número total como sus tipos. Las interneuronas son responsables del análisis de los impulsos sensitivos y la coordinación de los impulsos motores. Cuanto más compleja sea la respuesta a un estímulo dado, mayor será el número de interneuronas implicadas. Las interneuronas pueden clasificarse como **excitatorias** o **inhibitorias** basándose en sus efectos sobre las membranas postsinápticas de otras neuronas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. El examen de una muestra de tejido muestra neuronas seudounipolares. ¿Qué es más probable, que sean neuronas sensitivas o neuronas motoras?
2. ¿Qué tipo de célula glial esperaría encontrar en gran número en el tejido cerebral de una persona que sufre una infección del SNC?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Regeneración neural [v. figura 13.12]

Una neurona tiene una capacidad muy limitada para recuperarse después de una lesión. En el cuerpo celular, la sustancia cromatofílica desaparece y el núcleo se desplaza desde su localización centralizada. Si la neurona recupera una función normal, gradualmente volverá a tener un aspecto normal. Si el aporte de oxígeno o nutrientes se restringe, como en un ictus, o se aplica presión mecánica a una neurona, como ocurre a menudo en las lesiones de la médula espinal o el nervio periférico, la neurona puede ser incapaz de recuperarse a menos que se restablezca la circulación o se elimine la presión en un período de minutos a horas. Si estas tensiones continúan, las neuronas afectadas resultarán dañadas permanentemente o morirán.

En el sistema nervioso periférico, las células de Schwann participan en la reparación de los nervios dañados. En el proceso conocido como **degeneración walleriana** (v. figura 13.12), el axón distal a la zona de la lesión se deteriora y los macrófagos migran para fagocitar los detritos. Las células de Schwann del área se dividen y forman un cordón celular sólido que sigue la vía del axón original. Adicionalmente, estas células de Schwann liberan factores de crecimiento para promover el crecimiento axonal. Si el axón se ha seccionado, en unas pocas horas comienzan a emerger nuevos axones del extremo proximal de sección. Sin embargo, en las lesiones más frecuentes por aplastamiento o desgarro el extremo proximal del axón lesionado morirá y regresará un centímetro o más, y el brote de nuevos segmentos axonales puede retrasarse una o más semanas. A medida que la neurona continúa recuperándose, su axón crece en el lugar de la lesión y las células de Schwann lo envuelven.

Si el axón continúa creciendo en la periferia al lado del cordón apropiado de células de Schwann, finalmente pueden restablecerse sus contactos sinápticos normales. Si deja de crecer o se desvía en una nueva dirección, no volverá la función normal. El axón en crecimiento tiene más probabilidad de llegar a su destino adecuado si los muñones lesionados proximal y distal permanecen en contacto después de la lesión. Cuando está dañado todo el nervio periférico,

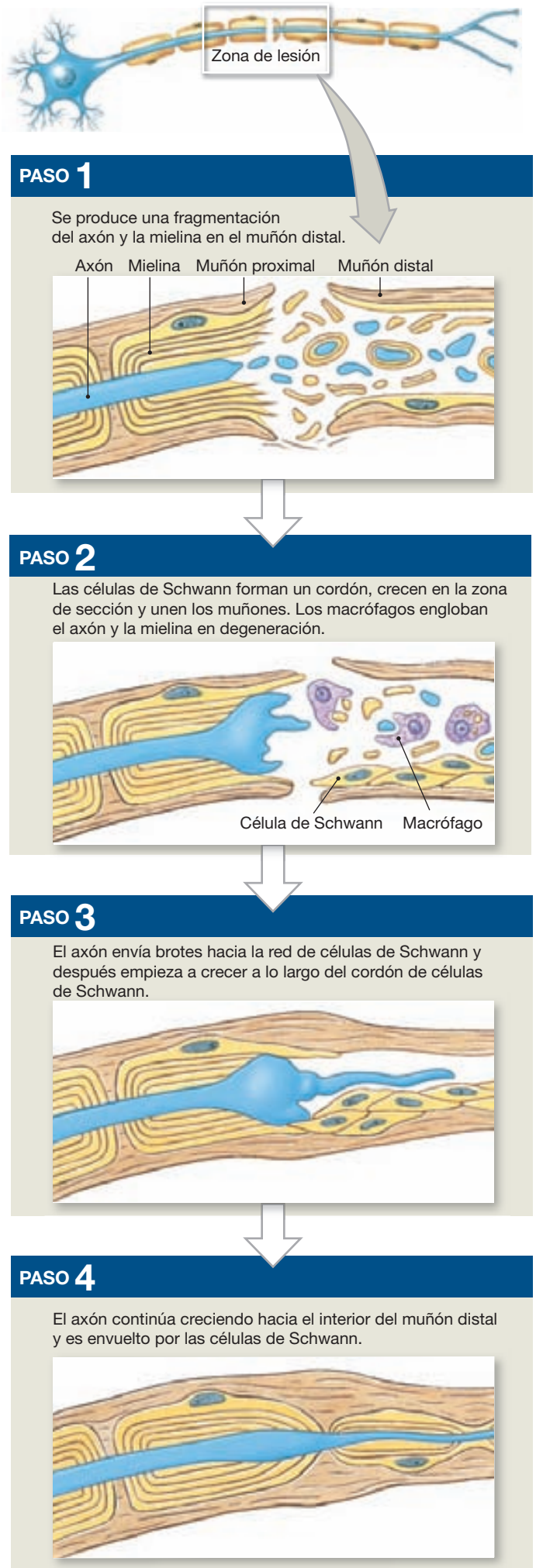

Zona de lesión
PASO 1
Se produce una fragmentación del axón y la mielina en el muñón distal.
Axón
Mielina
Muñón proximal
Muñón distal
PASO 2
Las células de Schwann forman un cordón, crecen en la zona de sección y unen los muñones. Los macrófagos engloban el axón y la mielina en degeneración.
Célula de Schwann
Macrófago
PASO 3
El axón envía brotes hacia la red de células de Schwann y después empieza a crecer a lo largo del cordón de células de Schwann.
PASO 4
El axón continúa creciendo hacia el interior del muñón distal y es envuelto por las células de Schwann.

Figura 13.12 Regeneración del nervio tras la lesión
Pasos implicados en la reparación de un nervio periférico mediante el proceso de degeneración walleriana.

sólo un número relativamente pequeño de axones restablecerá con éxito los contactos sinápticos normales.

En el sistema nervioso central puede producirse una regeneración limitada, pero la situación es más complicada debido a que:1) es probable que estén afectados muchos más axones; 2) los astrocitos producen tejido cicatricial que puede impedir el crecimiento axonal a través del área dañada, y 3) los astrocitos liberan sustancias químicas que bloquean el crecimiento de los axones. En el siguiente capítulo se presentará información adicional en relación con la regeneración neural y las reparaciones quirúrgicas.

Impulso nervioso

La **excitabilidad** es la capacidad de un plasmalema para conducir impulsos eléctricos. El plasmalema de las fibras musculares estriadas, de las células musculares cardíacas y de algunas células ganglionares y el axolema de la mayor parte de las neuronas (incluyendo todas las neuronas multipolares y seudounipolares) son ejemplos de membranas excitables. Un impulso eléctrico, o **potencial de acción,** se desarrolla después de que el plasmalema es estimulado hasta un nivel conocido como *umbral*. Después de haberse alcanzado el nivel umbral, cambia la permeabilidad de la membrana a los iones sodio y potasio. Los movimientos iónicos resultantes producen un cambio súbito en el potencial transmembrana, y este cambio constituye un potencial de acción. Los cambios de permeabilidad son transitorios e inicialmente limitados al punto de estimulación. Sin embargo, el cambio en la distribución de los iones desencadena casi inmediatamente cambios en la permeabilidad de las porciones adyacentes del plasmalema. De esta forma, el potencial de acción se conduce a lo largo de la superficie de la membrana. Por ejemplo, en una fibra muscular estriada, los potenciales de acción comienzan en la sinapsis neuromuscular y se propagan a través de toda la superficie del sarcolema [p. 246]. En el sistema nervioso, los potenciales de acción que viajan a lo largo de los axones se conocen como **impulsos nerviosos.**

Antes de que pueda producirse un impulso nervioso, debe aplicarse un estímulo de suficiente intensidad a la membrana de la neurona. Una vez iniciado, la velocidad de conducción del impulso depende de las propiedades del axón, específicamente:

1. *La presencia o ausencia de vaina de mielina:* un axón mielinizado conduce los impulsos cinco a siete veces más rápido que un axón no mielinizado
2. *El diámetro del axón:* cuanto más grande sea el diámetro, más rápidamente se conducirá el impulso.

Los axones mielinizados más grandes, con diámetros que oscilan entre 4 y 20 μm, conducen los impulsos nerviosos a una velocidad de hasta 140 m/s (480 km/h). En cambio, las fibras no mielinizadas pequeñas (menos de 2 μm de diámetro) conducen los impulsos a velocidades menores de 1 m/s (3,2 km/h).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué efecto tendría seccionar el axón sobre la transmisión del potencial de acción?
2. Se valoran las velocidades de conducción en dos axones. Uno conduce los potenciales de acción a 50 m/s, el otro a 1 m/s. ¿Qué axón está mielinizado?
3. Defina la excitabilidad.
4. ¿Qué término se utiliza para identificar los cambios del potencial transmembrana que se conducen?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Comunicación sináptica [v. figura 13.9b]

Una sinapsis entre neuronas puede incluir una terminación sináptica y: 1) una dendrita *(axodendrítica);* 2) el cuerpo celular *(axosomática),* o 3) un axón *(axoaxónica)*. Una sinapsis también puede permitir la comunicación entre una neurona y otro tipo celular; estas sinapsis se denominan **uniones neuroefectoras.** La *sinapsis neuromuscular* descrita en el capítulo 9 era un ejemplo de unión neuroefectora [pp. 239, 246]. En la figura 13.9b, p. 349, se muestran uniones neuroefectoras que incluyen otros tipos de células.

En una terminación sináptica, un impulso nervioso desencadena fenómenos en una sinapsis que transfieren la información bien a otra neurona o bien a una célula efectora. Una sinapsis puede ser *química,* que implica el paso de una sustancia neurotransmisora entre las células, o *eléctrica,* con uniones (espacios) de comunicación que permiten el flujo de iones entre las células [p. 44].

Sinapsis vesiculares [v. figura 13.13]

Las **sinapsis vesiculares,** también denominadas *sinapsis químicas*, son con mucho las más abundantes; existen varios tipos diferentes. La mayor parte de las interacciones entre las neuronas y todas las comunicaciones entre las neuronas y los efectores periféricos consisten en sinapsis vesiculares. En una sinapsis vesicular entre neuronas (v. figura 13.13), un neurotransmisor liberado en la *membrana presináptica* de un botón terminal se une a proteínas receptoras de la *membrana postsináptica* y desencadena un cambio transitorio del potencial transmembrana de la célula receptora. Sólo la membrana presináptica libera un neurotransmisor. Como consecuencia, la comunicación sólo ocurre en una dirección: desde la neurona presináptica hasta la neurona postsináptica.

La sinapsis neuromuscular, también denominada *unión neuromuscular,* descrita en el capítulo 9, es una sinapsis vesicular que libera el neurotransmisor

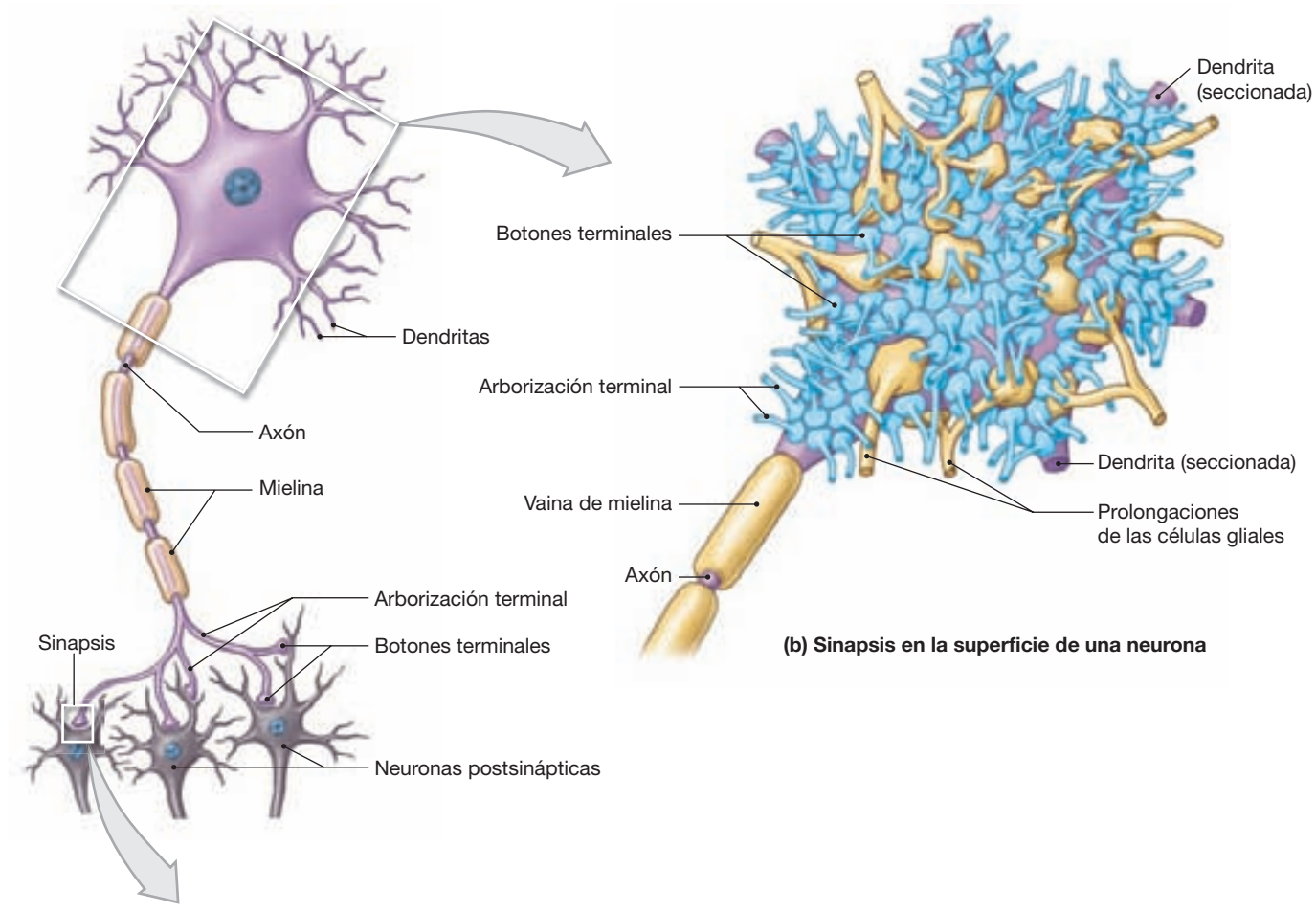


Figura 13.13 Estructura de una sinapsis
Una sinapsis es el lugar de comunicación entre una neurona y otra célula. **(a)** Vista esquemática de una sinapsis vesicular entre dos neuronas emparejada con una MET realzada en color de una sinapsis vesicular (MET × 186.480). **(b)** En la superficie de una única neurona pueden existir miles de sinapsis vesiculares. Muchas de estas sinapsis pueden estar activas en un mismo momento.

acetilcolina (ACh) [p. 246]. Se han identificado más de 50 neurotransmisores diferentes, pero la ACh es el más conocido. Todas las sinapsis neuromusculares somáticas utilizan ACh; también se libera en muchas sinapsis vesiculares del SNC y del SNP. La secuencia general de fenómenos es similar independientemente de la localización de la sinapsis o la naturaleza del neurotransmisor.

- La llegada del potencial de acción al botón terminal desencadena la liberación de neurotransmisor desde las vesículas secretoras a través de exocitosis en la membrana presináptica.
- El neurotransmisor difunde a través de la hendidura sináptica y se une a los receptores de la membrana postsináptica.
- La unión al receptor da lugar a un cambio en la permeabilidad de la membrana celular postsináptica. Dependiendo de la identidad y abundancia de las proteínas receptoras de la membrana postsináptica, el resultado puede ser excitatorio o inhibitorio. En general, los efectos excitatorios promueven la generación de potenciales de acción, mientras que los efectos inhibitorios reducen la capacidad para generar un potencial de acción.
- Si el grado de excitación es suficiente, la unión al receptor puede conducir a la generación de un potencial de acción en el axón (si la célula postsináptica es una neurona) o en el sarcolema (si la célula postsináptica es una fibra muscular estriada).
- Los efectos de un potencial de acción en la membrana postsináptica son de corta duración debido a que las moléculas neurotransmisoras son degradadas enzimáticamente o reabsorbidas. Para prolongar o intensificar los efectos, deben llegar potenciales de acción adicionales a la terminación sináptica y deben liberarse moléculas adicionales de ACh en la hendidura sináptica.

En capítulos posteriores se presentarán ejemplos de otros neurotransmisores diferentes de la ACh. En el cuerpo celular de una única neurona pueden existir miles de sinapsis (**v. figura 13.13b**). Muchas de estas serán activas en un momento dado, liberando una variedad de neurotransmisores diferentes. Algunos tendrán efectos excitatorios, otros efectos inhibitorios. La actividad de la neurona receptora depende de la sumación de todos los estímulos excitatorios e inhibitorios que influyen en el cono axonal en un momento dado.

Sinapsis no vesiculares

En el sistema nervioso predominan las sinapsis vesiculares. Las **sinapsis no vesiculares,** también denominadas *sinapsis eléctricas*, se encuentran entre las neuronas tanto en el SNC como en el SNP, pero son relativamente raras. En una sinapsis no vesicular, las membranas presináptica y postsináptica están estrechamente unidas y las *uniones (espacios) de comunicación* permiten el paso de iones entre las células [p. 44]. Debido a que las dos células están unidas de esta forma, funcionan como si compartieran una membrana común, y el impulso nervioso cruza de una neurona a la siguiente sin retraso. En contraste con las sinapsis vesiculares, las sinapsis no vesiculares pueden transmitir los impulsos nerviosos en cualquier dirección.

Organización y procesamiento neuronal [v. figura 13.14]

Las neuronas son los cimientos básicos del sistema nervioso. Los miles de millones de interneuronas del SNC se organizan en un número mucho menor de **grupos neuronales.** Un grupo neuronal es un conjunto de neuronas interconectadas con funciones específicas. Los grupos neuronales se definen en base a su función más que sobre bases anatómicas. Un grupo puede ser difuso, incluyendo neuronas de varias regiones diferentes del cerebro, o localizado, con todas las neuronas limitadas a una localización específica en el cerebro o la médula espinal. Los cálculos en relación al número real de grupos neuronales varían entre unos cientos y unos miles. Cada uno tiene un número limitado de fuentes de impulsos entrantes y de destinos de impulsos salientes, y el grupo puede contener tanto neuronas excitatorias como inhibitorias.

El «patrón de conexión» básico de un grupo neuronal se denomina *circuito nervioso*. Un circuito nervioso puede tener una de las siguientes funciones:

1. La **divergencia** es la diseminación de la información desde una neurona a varias neuronas, como en la **figura 13.14a**, o desde un grupo a múltiples grupos. La divergencia permite la distribución amplia de un impulso específico. Se produce una divergencia considerable cuando las neuronas sensitivas llevan información al SNC, ya que la información se distribuye a los grupos neuronales a través de la médula espinal y el cerebro.

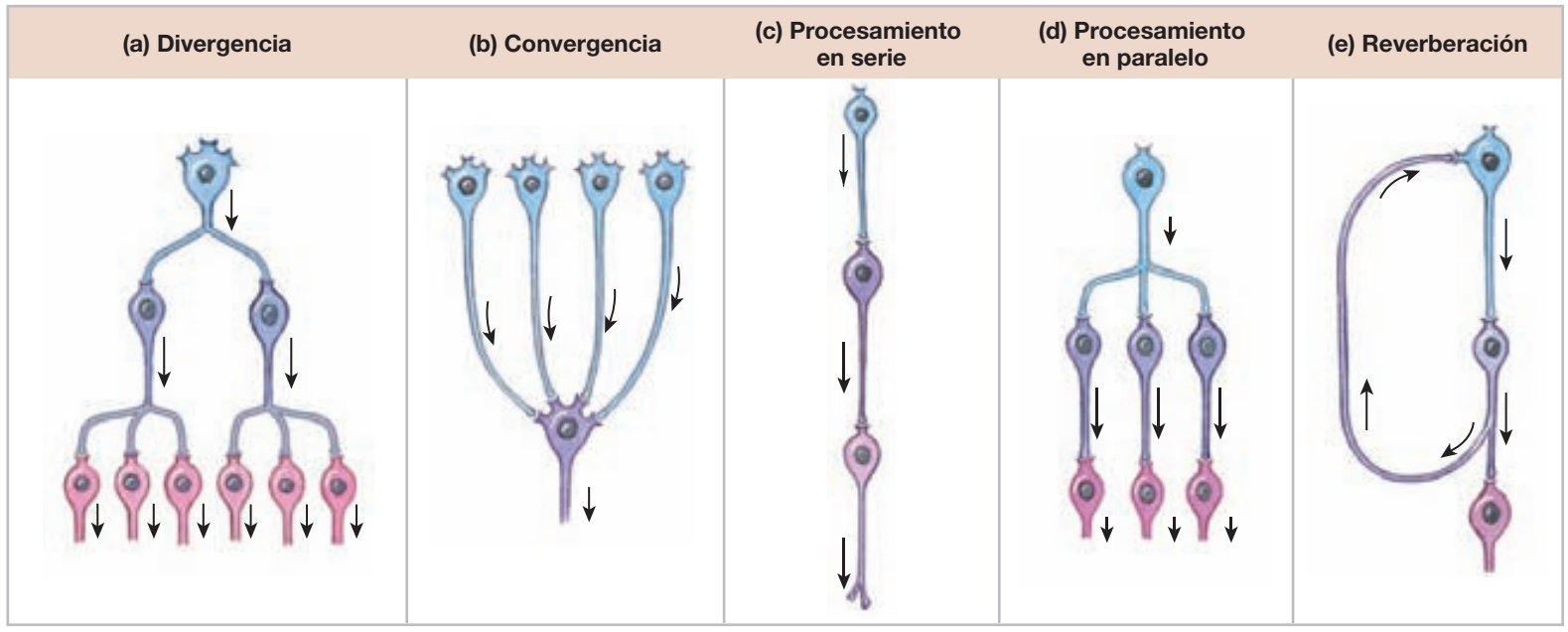


Figura 13.14 Organización de los circuitos neuronales
(a) Divergencia, un mecanismo para diseminar la estimulación a múltiples neuronas o grupos neuronales en el SNC. **(b)** Convergencia, un mecanismo que proporciona impulsos a una única neurona desde múltiples orígenes. **(c)** Procesamiento en serie, en el cual las neuronas o grupos trabajan de manera secuencial. **(d)** Procesamiento en paralelo, en el que las neuronas o grupos neuronales individuales procesan la información simultáneamente. **(e)** Reverberación, un mecanismo de retroalimentación que puede ser excitatorio o inhibitorio.

2. En la **convergencia,** varias neuronas sinaptan en la misma neurona postsináptica (**v. figura 13.14b**). Varios patrones diferentes de actividad en las neuronas presinápticas pueden tener el mismo efecto sobre la neurona postsináptica. La convergencia permite el control variable de las neuronas motoras proporcionando un mecanismo para su control voluntario e involuntario. Por ejemplo, los movimientos de su diafragma y costillas están siendo controlados ahora por los centros respiratorios del cerebro que trabajan fuera de su conciencia. Pero las mismas neuronas motoras también pueden controlarse voluntariamente, como cuando hace una respiración profunda y la mantiene. Están implicados dos grupos neuronales diferentes y ambos sinaptan en las mismas neuronas motoras.
3. La información puede transmitirse de una neurona a otra o de un grupo neuronal al siguiente de forma escalonada. Este patrón, denominado **procesamiento en serie,** se muestra en la **figura 13.14c**. El procesamiento en serie se produce cuando la información sensitiva se transmite desde un centro de procesamiento hasta otro en el cerebro.
4. El **procesamiento en paralelo** ocurre cuando varias neuronas o grupos neuronales están procesando la misma información al mismo tiempo (**v. figura 13.14d**). Gracias al procesamiento en paralelo se producen muchas respuestas diferentes simultáneamente. Por ejemplo, pisar un objeto punzante estimula las neuronas sensitivas que distribuyen la información a una serie de grupos neuronales. Como consecuencia del procesamiento en paralelo, puede retirar el pie, levantar su peso, mover los brazos, sentir el dolor y gritar «¡Ay!» todo al mismo tiempo.
5. Algunos circuitos neuronales utilizan la retroalimentación positiva para producir la **reverberación.** En esta disposición, los axones colaterales se extienden hacia la fuente de un impulso y estimulan las neuronas presinápticas. Una vez que se ha activado un circuito reverberante, continuará funcionando hasta que la fatiga sináptica o los estímulos inhibitorios rompan el ciclo. Al igual que la convergencia o la divergencia, la reverberación puede aparecer en un único grupo neuronal o puede implicar a una serie de grupos interconectados. En la **figura 13.14e** se muestra un ejemplo de reverberación; ejemplos mucho más complejos de reverberación entre grupos neuronales del cerebro pueden estar implicados en el mantenimiento de la conciencia, la coordinación muscular y los patrones respiratorios normales. Trataremos estos y otros «patrones de conexión» cuando consideremos la organización de la médula espinal y el cerebro en capítulos posteriores.

Organización anatómica del sistema nervioso [v. figura 13.15 y tabla 13.1]

Las funciones del sistema nervioso dependen de las interacciones entre las neuronas de los grupos neuronales y los pasos de procesamiento neural más complejos tienen lugar en la médula espinal y el cerebro (SNC). La información sensitiva entrante y las órdenes motoras salientes son transportadas por el sistema nervioso periférico (SNP). Los axones y los cuerpos celulares del SNC y del SNP no están diseminados de forma aleatoria. En su lugar, forman masas o haces con límites anatómicos diferenciados. La organización anatómica del sistema nervioso se esquematiza en la **figura 13.15** y se resume en la tabla 13.1, p. 342.

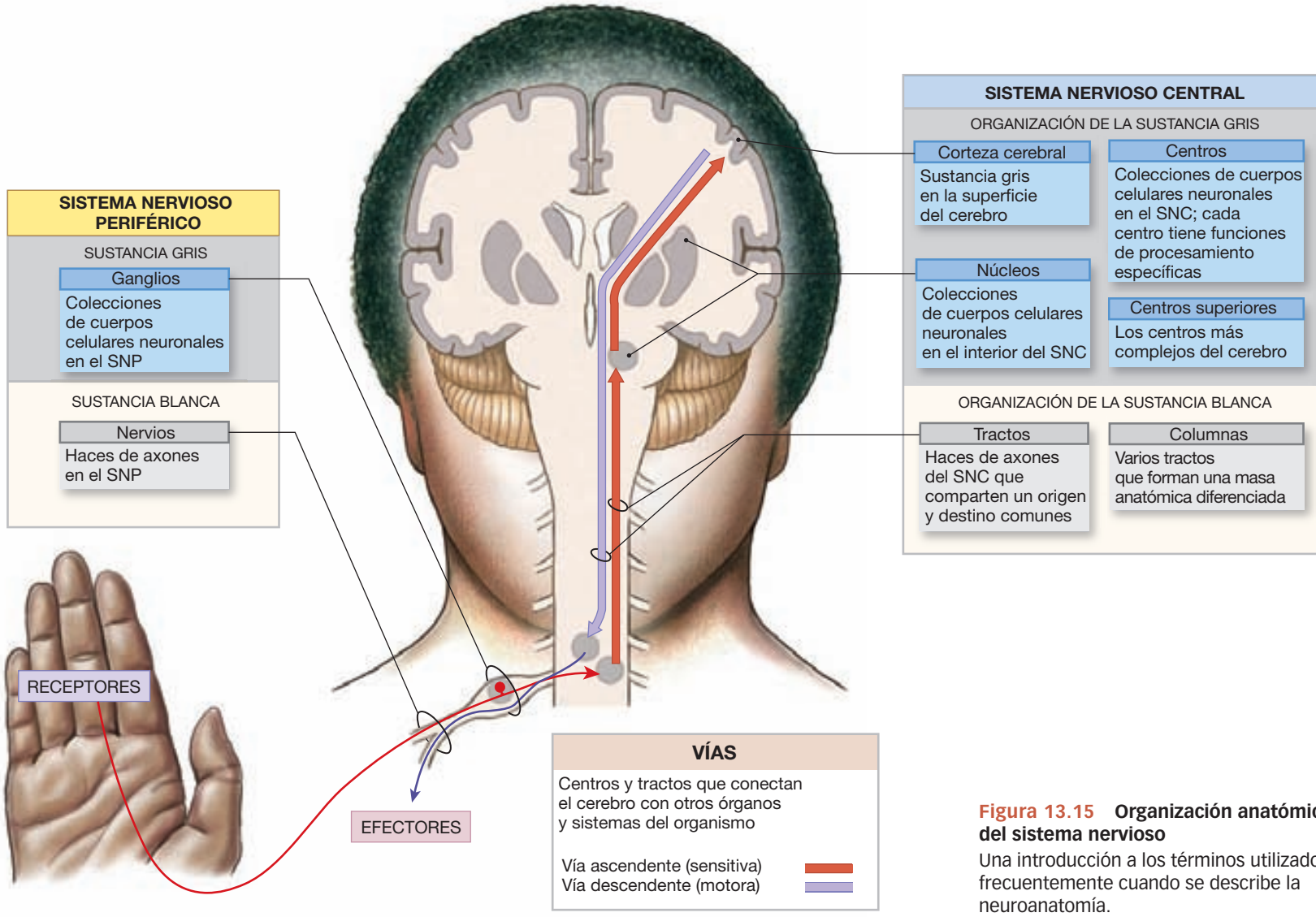

SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO
SUSTANCIA GRIS
Ganglios
Colecciones de cuerpos celulares neuronales en el SNP
SUSTANCIA BLANCA
Nervios
Haces de axones en el SNP
SISTEMA NERVIOSO CENTRAL
ORGANIZACIÓN DE LA SUSTANCIA GRIS
Corteza cerebral
Sustancia gris en la superficie del cerebro
Centros
Colecciones de cuerpos celulares neuronales en el SNC; cada centro tiene funciones de procesamiento específicas
Núcleos
Colecciones de cuerpos celulares neuronales en el interior del SNC
Centros superiores
Los centros más complejos del cerebro
ORGANIZACIÓN DE LA SUSTANCIA BLANCA
Tractos
Haces de axones del SNC que comparten un origen y destino comunes
Columnas
Varios tractos que forman una masa anatómica diferenciada
RECEPTORES
EFECTORES
VÍAS
Centros y tractos que conectan el cerebro con otros órganos y sistemas del organismo
Vía ascendente (sensitiva)
Vía descendente (motora)

Figura 13.15 Organización anatómica del sistema nervioso
Una introducción a los términos utilizados frecuentemente cuando se describe la neuroanatomía.

En el SNP:

- Los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas y las neuronas motoras viscerales se encuentran en los *ganglios*.
- Los axones se agrupan en haces en los nervios, los *nervios espinales* conectan con la médula espinal y los *nervios craneales* conectan con el cerebro.

En el SNC:

- Una colección de cuerpos celulares neuronales con una función común se denomina **centro.** Un centro con un límite anatómico diferenciado se denomina **núcleo.** Las porciones de la superficie cerebral están cubiertas por una capa gruesa de sustancia gris denominada **corteza cerebral.** El término *centros superiores* se refiere a los centros de integración más complejos, núcleos y áreas corticales del cerebro.
- La sustancia blanca del SNC contiene haces de axones que comparten un origen, destino y función común. Estos haces se denominan **tractos.** Los tractos de la médula espinal forman grupos más grandes denominados **columnas.**
- Los centros y tractos que unen el cerebro con el resto del cuerpo se denominan **vías.** Por ejemplo, las **vías sensitivas,** o *vías ascendentes*, distribuyen la información desde los receptores periféricos hasta los centros de procesamiento del cerebro, y las **vías motoras,** o *vías descendentes,* comienzan en los centros del SNC relacionados con el control motor y terminan en los efectores que controlan.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique los dos tipos de sinapsis.
2. En general, ¿en qué difieren las sinapsis excitatorias e inhibitorias?
3. Distinga entre un grupo neuronal cuya función sea la divergencia y un grupo neuronal cuya función sea la convergencia.
4. Describa las siguientes estructuras anatómicas que aparecen en el sistema nervioso central: centro, tracto y vía.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del sistema nervioso, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

TÉRMINOS CLÍNICOS

desmielinización: Destrucción progresiva de las vainas de mielina en el SNC y el SNP que conduce a una afectación de la sensibilidad y el control motor. La desmielinización se asocia a *intoxicación por metales pesados, difteria, esclerosis múltiple* y *síndrome de Guillain-Barré*.

rabia: Enfermedad vírica aguda del sistema nervioso central generalmente transmitida por la mordedura de un mamífero infectado. El virus alcanza el SNC mediante transporte a lo largo de los axones de las neuronas que inervan la región de la mordedura.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 341

1. Dos sistemas orgánicos, los sistemas nervioso y endocrino, coordinan y dirigen las actividades de otros sistemas orgánicos. El sistema nervioso produce respuestas rápidas y breves a los estímulos; el sistema endocrino ajusta las funciones metabólicas y dirige cambios a largo plazo.

Visión general del sistema nervioso 341

1. El **sistema nervioso** comprende todo el **tejido nervioso** del organismo. Sus subdivisiones anatómicas son el **sistema nervioso central (SNC)** (el cerebro y la médula espinal) y el **sistema nervioso periférico (SNP)** (todo el tejido nervioso externo al SNC).
2. Funcionalmente, el sistema nervioso se subdivide en una **división aferente**, que transmite información sensitiva de los receptores somáticos y viscerales al SNC, y una **división eferente**, que lleva las órdenes motoras a los músculos y glándulas.
3. La división eferente incluye tanto el **sistema nervioso somático (SNS)** (control voluntario sobre las contracciones del músculo estriado) como el **sistema nervioso autónomo (SNA)** (regulación automática, involuntaria del músculo liso, el músculo cardíaco y la actividad glandular) *(v. figuras 13.1/13.2 y tabla 13.1)*.

Organización celular del tejido nervioso 342

1. Existen dos tipos de células en el tejido nervioso: **neuronas**, que son responsables de la transferencia y procesamiento de la información, y **neuroglia** o **células gliales**, que son las células de soporte del sistema nervioso. Una neurona típica tiene un **cuerpo celular** (**soma**), un **axón** y varias **dendritas** *(v. figuras 13.3/13.4)*.

Neuroglia 344

2. Hay cuatro tipos de neuroglia en el SNC: 1) *astrocitos;* 2) *oligodendrocitos;* 3) *microglia*, y 4) *células ependimarias (v. figuras 13.4 a 13.8)*.
3. Los **astrocitos** son las células gliales más grandes y más numerosas. Mantienen la barrera hematoencefálica para aislar el SNC de la circulación general, proporcionan soporte estructural al SNC, regulan las concentraciones de iones y nutrientes y realizan reparaciones para estabilizar el tejido y prevenir una lesión adicional *(v. figuras 13.4/13.5/13.6)*.
4. Los **oligodendrocitos** envuelven los axones del SNC en una vaina membranosa denominada **mielina.** Los espacios entre las cubiertas de mielina a lo largo de un axón se denominan **espacios de la vaina de mielina** (o *nódulos de Ranvier*), mientras que las grandes áreas cubiertas por mielina se denominan **internodos**. Las regiones que contienen fundamentalmente axones mielinizados tienen un aspecto blanco brillante y se denominan **sustancia blanca** *(v. figuras 13.4/13.5)*.
5. La **microglia** son células pequeñas con muchas prolongaciones citoplasmáticas finas. Estas son células fagocíticas que engloban los detritos celulares, productos de desecho y patógenos. Aumentan en número como consecuencia de una infección o lesión *(v. figuras 13.4/13.5)*.
6. Las **células ependimarias** son células epiteliales atípicas que recubren las cámaras y conductos llenos de **líquido cefalorraquídeo (LCR)** del cerebro y la médula espinal. Intervienen en la producción, circulación y control del LCR *(v. figuras 13.4 a 13.6)*.
7. Los cuerpos celulares de las neuronas del SNP se agrupan en **ganglios**, y sus axones forman los **nervios periféricos** *(v. figuras 13.7/13.8)*.
8. Los tipos de células gliales del SNP son las *células satélite* y las *células de Schwann (v. figuras 13.7/13.8)*.
9. Las **células satélite** encierran los cuerpos celulares neuronales en los ganglios *(v. figura 13.7)*.
10. Las **células de Schwann** (*neurolemocitos*) cubren todos los axones periféricos, sean mielinizados o no mielinizados *(v. figura 13.8)*.

Neuronas 349

11. El **pericarion** de una neurona es el citoplasma que rodea el núcleo. Contiene orgánulos, incluyendo **neurofilamentos**, **neurotúbulos** y haces de neurofilamentos, denominados **neurofibrillas**, que se extienden en el interior de las dendritas y el axón. El **cono axonal** es una región especializada del axón. Conecta el **segmento inicial** del axón con el cuerpo celular. El citoplasma del axón, el **axoplasma**, contiene numerosas orgánulos *(v. figura 13.9)*.
12. Las **colaterales** son ramas laterales de un axón. Las **arborizaciones terminales** son una serie de ramificaciones terminales finas que se ramifican en el extremo del axón *(v. figura 13.9)*.
13. Las arborizaciones terminales acaban en las *terminaciones sinápticas*. Una **sinapsis** es un lugar de comunicación intercelular entre una neurona y otra célula. Un **botón terminal** se localiza donde una neurona sinapta con otra. La comunicación sináptica generalmente implica la liberación de sustancias químicas específicas que se denominan neurotransmisores *(v. figura 13.9)*.
14. Estructuralmente, las neuronas pueden clasificarse basándose en el número de prolongaciones que se proyectan desde el cuerpo celular: 1) **anaxónicas** (no existe un axón diferenciado); 2) **bipolares** (una dendrita y un axón); 3) **seudounipolares** (la dendrita y el axón se continúan a un lado del cuerpo celular), y 4) **multipolares** (varias dendritas y un axón) *(v. figura 13.10)*.
15. Existen tres grupos funcionales de neuronas: *neuronas sensitivas*, *neuronas motoras* e *interneuronas* (neuronas de asociación) *(*v. f*igura 13.11)*.
16. Las **neuronas sensitivas** forman la división aferente del SNP y llevan la información desde los receptores sensitivos hasta el SNC. Los receptores se clasifican en **exterorreceptores** (proporcionan información del entorno externo), **propiorreceptores** (controlan la posición y el movimiento de las articulaciones) e **interorreceptores** (controlan el aparato digestivo, respiratorio, cardiovascular, urinario y reproductor) *(*v. *figura 13.11)*.
17. Las **neuronas motoras** forman las vías eferentes que estimulan o modifican la actividad de un tejido, órgano o sistema orgánico periférico. Las **neuronas motoras somáticas** inervan el músculo estriado. Las **neuronas motoras viscerales** inervan todos los efectores periféricos diferentes de los músculos estriados. Los axones de las neuronas motoras viscerales del SNC (**fibras preganglionares**) sinaptan en las neuronas de los ganglios; estas células ganglionares proyectan axones (**fibras posganglionares**) para controlar los efectores periféricos *(v. figura 13.11)*.
18. Las **interneuronas** (**neuronas de asociación**) pueden localizarse entre las neuronas sensitivas y motoras; analizan los impulsos sensitivos aferentes y coordinan los impulsos motores eferentes. Las interneuronas se clasifican como **excitatorias** o **inhibitorias** basándose en sus efectos sobre las neuronas postsinápticas *(v. figura 13.11)*.

Regeneración neural 352

1. Las neuronas tienen una capacidad muy limitada de regeneración después de una lesión. Cuando se secciona todo un nervio periférico, sólo un número relativamente pequeño de axones del nervio restablecerá con éxito los contactos sinápticos normales. Como consecuencia, la función del nervio completo está afectada de forma permanente *(v. figura 13.12)*.
2. Las células de Schwann participan en la reparación de los nervios periféricos dañados. Este proceso se conoce como **degeneración walleriana** *(v. figura 13.12)*.
3. En el sistema nervioso central puede producirse una regeneración limitada, pero la situación es más complicada porque: 1) es más probable que estén afectados muchos más axones; 2) los astrocitos producen tejido cicatricial que puede evitar el crecimiento axonal a través del área dañada, y 3) los astrocitos liberan sustancias químicas que bloquean el crecimiento de los axones *(v. figura 13.12)*.

Impulso nervioso 353

1. La **excitabilidad** es la capacidad de una membrana celular para conducir impulsos eléctricos; las membranas celulares de las fibras musculares estriadas y de la mayoría de las neuronas son excitables.
2. Los cambios en el potencial transmembrana que se conducen y que ocurren como resultado de las alteraciones en el flujo de iones sodio y potasio cuando se alcanza el *umbral* de la membrana se denominan **potenciales de acción**. Un potencial de acción que viaja a lo largo de un axón se denomina **impulso nervioso**.
3. La velocidad de conducción del impulso depende de las propiedades del axón, específicamente de la presencia o ausencia de la vaina de mielina (un axón mielinizado conduce los impulsos cinco a siete veces más rápido que un axón no mielinizado) y del diámetro del axón (cuanto mayor sea el diámetro, mayor la velocidad de conducción).

Comunicación sináptica 354

1. Las sinapsis se producen en las dendritas, el cuerpo celular o a lo largo de los axones. Las sinapsis permiten la comunicación entre las neuronas y otras células en las **uniones neuroefectoras** *(v. figura 13.9b)*.
2. Una sinapsis puede ser **vesicular** (*química*) que implica un neurotransmisor o **no vesicular** (*eléctrica*), con contacto directo entre las células. Las sinapsis vesiculares son más frecuentes *(v. figura 13.13a)*.

Sinapsis vesiculares 354

3. En una **sinapsis vesicular** entre dos neuronas se establece una relación especial. Sólo la *membrana presináptica* libera un neurotransmisor el cual se une a las proteínas receptoras de la *membrana postsináptica*, causando un cambio en el potencial transmembrana de la célula receptora. Por tanto, la comunicación sólo puede ocurrir en una dirección a través de la sinapsis: desde la neurona presináptica hasta la neurona postsináptica *(v. figura 13.13)*.
4. Se han identificado más de 50 neurotransmisores. Todas las sinapsis neuromusculares utilizan ACh como neurotransmisor; la ACh también se libera en muchas sinapsis vesiculares tanto en el SNC como en el SNP.
5. La secuencia general de fenómenos en una sinapsis vesicular es la siguiente: 1) la liberación del neurotransmisor se desencadena por la llegada de un potencial de acción al botón terminal de la membrana presináptica; 2) el neurotransmisor se une a los receptores de la membrana postsináptica después de difundir a través de la hendidura sináptica; 3) la unión del neurotransmisor causa un cambio en la permeabilidad de la membrana celular postsináptica que produce efectos excitatorios o inhibitorios dependiendo de la identidad y abundancia de las proteínas receptoras; 4) el inicio de un potencial de acción depende del grado de excitación, y 5) los efectos en la membrana postsináptica decaen rápidamente a medida que las moléculas del neurotransmisor son degradadas por las enzimas.
6. Una única neurona puede tener miles de sinapsis en su cuerpo celular. La actividad de la neurona depende de la sumación de todos los estímulos excitatorios e inhibitorios que llegan en un momento dado al cono axonal.

Sinapsis no vesiculares 355

7. Las **sinapsis no vesiculares** (también denominadas *sinapsis eléctricas*) se encuentran entre neuronas del SNC y del SNP, aunque son raras. En estas sinapsis, el neurolema de la célula presináptica y postsináptica está estrechamente unido y las células funcionan como si compartieran un neurolema común. Las sinapsis no vesiculares transmiten la información más rápidamente que las sinapsis vesiculares. Las sinapsis no vesiculares también pueden ser bidireccionales.

Organización y procesamiento neuronal 355

1. Existen aproximadamente 20 billones de interneuronas que pueden clasificarse en **grupos neuronales**. Los circuitos nerviosos de estos grupos neuronales pueden mostrar: 1) *divergencia*; 2) *convergencia*; 3) *procesamiento en serie*; 4) *procesamiento en paralelo*, y 5) *reverberación (v. figura 13.14)*.
2. La **divergencia** es la diseminación de la información desde una neurona a varias neuronas o desde un grupo a varios grupos neuronales. Esto facilita la distribución extensa de un impulso específico *(v. figura 13.4a)*.
3. La **convergencia** es la presencia de sinapsis desde varias neuronas hasta una neurona postsináptica. Permite el control variable de las neuronas motoras *(v. figura 13.4b)*.
4. El **procesamiento en serie** es un patrón de procesamiento escalonado de la información, de una neurona a otra o de un grupo neuronal al siguiente. Es la forma en la que se transmite la información sensitiva en los centros de procesamiento del cerebro *(v. figura 13.4c)*.
5. El **procesamiento en paralelo** es un patrón que procesa la información por varias neuronas o grupos neuronales a la vez. Se producen muchas respuestas diferentes al mismo tiempo *(v. figura 13.4d)*.
6. La **reverberación** ocurre cuando los circuitos nerviosos utilizan la retroalimentación positiva para continuar la actividad del circuito. Los axones colaterales establecen un circuito para continuar estimulando las neuronas presinápticas *(v. figura 13.4e)*.

Organización anatómica del sistema nervioso 356

1. Las funciones del sistema nervioso dependen de las interacciones entre los grupos neuronales. Casi todos los pasos de procesamiento complejos ocurren en el interior del cerebro y la médula espinal *(v. figura 13.15)*.
2. Los cuerpos celulares y los axones neuronales del SNP y del SNC se organizan en masas o haces con límites anatómicos diferenciados *(v. figura 13.15)*.
3. En el SNP, los *ganglios* contienen los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas y motoras viscerales. Los axones de los nervios están en los *nervios espinales* para la médula espinal y en los *nervios craneales* para el cerebro *(v. figura 13.11)*.
4. En el SNC, los cuerpos celulares se organizan en **centros;** un centro con límites determinados se denomina **núcleo.** La **corteza cerebral** es la sustancia gris que cubre las porciones del cerebro. La denominación *centro superior* refleja su implicación en actividades complejas. La sustancia blanca tiene haces de axones llamados **tractos.** Los tractos se organizan en unidades más grandes denominadas **columnas.** Los centros y tractos que unen el cerebro con el resto del cuerpo son las **vías.** Las vías sensitivas (*ascendentes*) llevan la información desde los receptores periféricos hasta el cerebro; las vías motoras (*descendentes*) se extienden desde los centros del SNC relacionados con el control motor hasta los músculos estriados asociados *(v. figura 13.15)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. división aferente	a. retroalimentación positiva
___ 2. efector	b. conecta el segmento inicial al soma
___ 3. astrocito	c. información sensitiva
___ 4. oligodendrocito	d. controla la posición/movimiento de las articulaciones
___ 5. cono axonal	e. mielina
___ 6. colaterales	f. una dendrita
___ 7. neuronas bipolares	g. cuerpos celulares neuronales en el SNP
___ 8. propiorreceptores	h. barrera hematoencefálica
___ 9. reverberación	i. ramas laterales de los axones
___10. ganglios	j. células musculares estriadas

11. ¿Cuál de las siguientes no es una función de la neuroglia?
    (a) soporte
    (b) procesamiento de la información
    (c) secreción del líquido cefalorraquídeo
    (d) fagocitosis

12. Las células gliales que se encuentran alrededor de los cuerpos celulares de las neuronas periféricas son:
    (a) astrocitos (b) células ependimarias
    (c) microglia (d) células satélite

13. La función más importante del soma de una neurona es:
    (a) permitir la comunicación con otra neurona
    (b) soporte de las células neurogliales
    (c) generar una carga eléctrica
    (d) alojar las orgánulos que producen energía y sintetizan moléculas orgánicas

14. Los axones terminan en una serie de finas extensiones conocidas como:
    (a) arborización terminal (b) sinapsis
    (c) colaterales (d) conos

15. ¿Cuál de las siguientes actividades o sensibilidades no está controlada por los interorreceptores?
    (a) actividad urinaria (b) actividad del aparato digestivo
    (c) actividad visual (d) actividad cardiovascular

16. Las neuronas en las que las prolongaciones dendríticas y axonal se continúan y el cuerpo celular se sitúa en un lado se denominan:
    (a) anaxónicas
    (b) seudounipolares
    (c) bipolares
    (d) multipolares

17. Las estructuras en los extremos de las arborizaciones terminales que forman las terminaciones sinápticas son:
    (a) axones (b) botones terminales
    (c) colaterales (d) conos axonales

18. El neurotransmisor es liberado por:
    (a) una membrana postsináptica
    (b) un órgano efector
    (c) todas las áreas de la célula nerviosa
    (d) sólo una membrana presináptica

19. En los grupos neuronales, el procesamiento en paralelo ocurre cuando:
    (a) varias neuronas sinaptan en la misma neurona postsináptica
    (b) la información se transmite escalonadamente de una neurona a otra
    (c) varias neuronas procesan la misma información al mismo tiempo
    (d) las neuronas utilizan la retroalimentación positiva

20. Una columna es:
    (a) una colección de cuerpos celulares neuronales
    (b) un grupo de tractos en la médula espinal
    (c) un haz de la sustancia blanca con un origen y destino común
    (d) ninguno de los anteriores

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Los patrones de interacción entre las neuronas incluyen ¿cuál de los siguientes?
    (a) divergencia (b) procesamiento en paralelo
    (c) reverberación (d) todos los anteriores

2. ¿Qué tipo de célula del tejido nervioso es probable que funcione mal si la barrera hematoencefálica no está protegiendo adecuadamente el cerebro?
    (a) células ependimarias (b) astrocitos
    (c) oligodendrocitos (d) microglia

3. Los problemas del desarrollo en el crecimiento y las interconexiones de las neuronas del cerebro reflejan alteraciones en:
    (a) las neuronas aferentes (b) la microglia
    (c) los astrocitos (d) las neuronas eferentes

4. ¿Para qué propósito sirven las colaterales en el sistema nervioso?

5. ¿En qué difiere la actividad de un exterorreceptor de la actividad de un interorreceptor?

6. ¿Cuál es el propósito de la barrera hematoencefálica?

7. Diferencie entre las funciones del SNC y las del SNP.

8. Distinga entre el sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo.

9. ¿Por qué es más eficaz una sinapsis no vesicular que una sinapsis vesicular? ¿Por qué es menos versátil?

10. Diferencie entre el procesamiento en serie y en paralelo.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En la esclerosis múltiple existe un daño progresivo e intermitente de la vaina de mielina de los nervios periféricos. Esto produce un mal control motor del área afectada. ¿Por qué afecta al control motor la destrucción de la vaina de mielina?

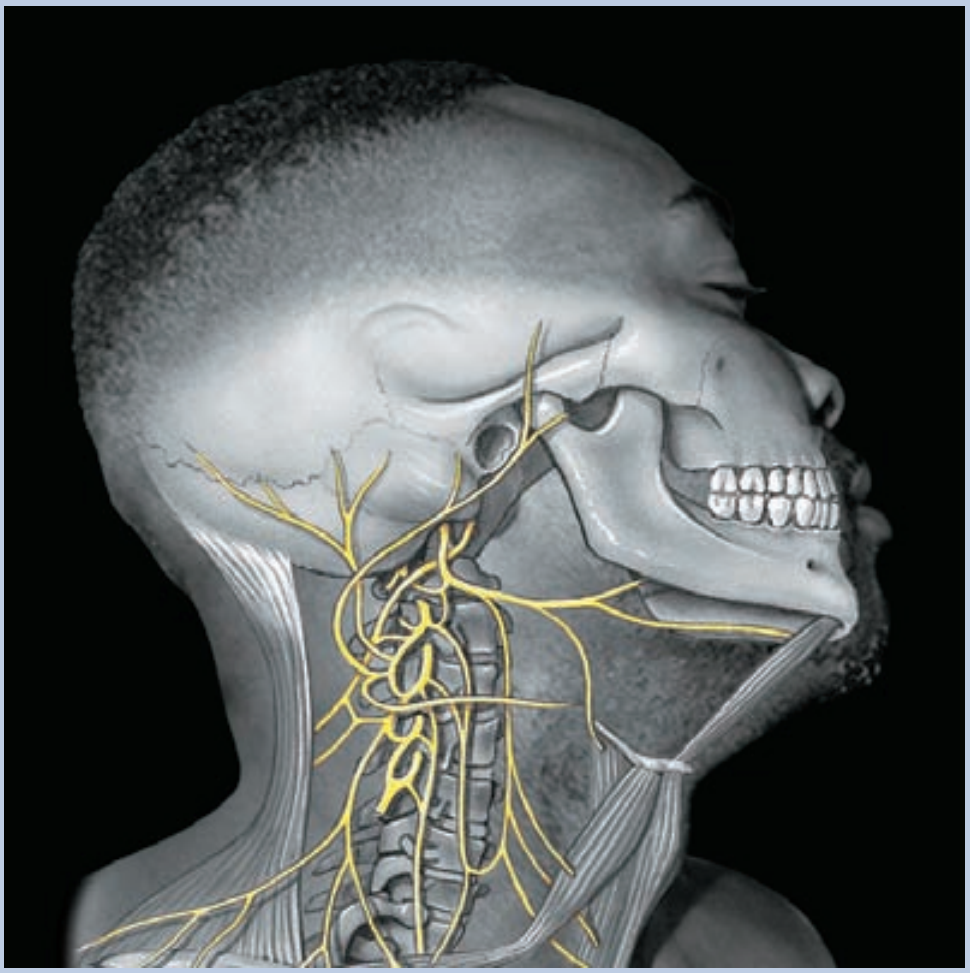
2. Una niña de 8 años de edad se cortó en el codo al caerse sobre una ventana mientras patinaba. Esta lesión causó sólo un daño muscular menor, pero seccionó parcialmente un nervio del brazo. ¿Qué es probable que ocurra en los axones seccionados de este nervio, y recuperará la niña la función normal del nervio y de los músculos que este controla?

3. Eve es diagnosticada de meningitis. Su médico informa a su padre que se necesitarán dosis elevadas de antibióticos para tratar el proceso. Su padre asume que esto se debe a la gravedad de la enfermedad. ¿Está en lo cierto? Si no, ¿por qué se requieren dosis tan altas para tratar el trastorno de Eve?

14

Sistema nervioso

Médula espinal y nervios raquídeos



Introducción 362

Anatomía macroscópica de la médula espinal 362

Meninges espinales 362

Anatomía seccional de la médula espinal 365

Nervios raquídeos 369

Reflejos 376

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Tratar la estructura y las funciones de la médula espinal.
2. Localizar las meninges espinales, describir su estructura y enumerar sus funciones.
3. Tratar la estructura y localización de la sustancia gris y la sustancia blanca y describir las funciones de ambas en el procesamiento y la transmisión de la información sensitiva y motora.
4. Identificar los grupos regionales de nervios raquídeos.
5. Describir las capas de tejido conjuntivo asociadas a un nervio espinal.
6. Describir las diferentes ramas de un nervio espinal representativo.
7. Definir los dermatomas y explicar su importancia.
8. Definir el *plexo nervioso* e identificar los cuatro plexos nerviosos medulares principales.
9. Identificar los nervios raquídeos que se originan en los cuatro plexos nerviosos principales, enumerar sus principales ramas e indicar sus funciones fundamentales.
10. Describir las estructuras y los pasos implicados en un reflejo nervioso, clasificar los reflejos e identificar sus componentes estructurales.
11. Dar ejemplos de los tipos de respuestas motoras producidas por los reflejos medulares.

El **sistema nervioso central (SNC)** consta de la *médula espinal* y el *encéfalo*. A pesar de que ambos están conectados anatómicamente, la médula espinal y el encéfalo muestran un grado significativo de independencia funcional. La médula espinal es mucho más que una vía para que la información viaje hasta o desde el encéfalo. Aunque la mayor parte de los datos sensitivos se transmiten al encéfalo, la médula espinal también integra y procesa información por sí misma. Este capítulo describe la anatomía de la médula espinal y examina las actividades de integración que tienen lugar en esta porción del SNC.

Anatomía macroscópica de la médula espinal [v. figuras 14.1 a 14.3]

La médula espinal del adulto (v. figura 14.1a) mide aproximadamente 45 cm de longitud y se extiende desde el agujero magno del cráneo hasta el borde inferior de la primera vértebra lumbar (L_1). La superficie dorsal de la médula espinal presenta un surco longitudinal estrecho, el **surco medio posterior**. El pliegue profundo a lo largo de la superficie ventral es el **surco medio anterior** (v. figura 14.1d). Cada región de la médula espinal (cervical, torácica, lumbar y sacra) contiene los tractos implicados con ese segmento particular y los asociados a él. La figura 14.1d proporciona una serie de imágenes de secciones transversales que muestran las variaciones en la masa relativa de sustancia gris frente a sustancia blanca a lo largo de la longitud de la médula espinal.

La cantidad de sustancia gris aumenta considerablemente en los segmentos de la médula espinal relacionados con la inervación sensitiva y motora de los miembros. Estas áreas contienen interneuronas responsables de transmitir la información sensitiva entrante y coordinar las actividades de las neuronas motoras somáticas que controlan los músculos complejos de los miembros. Estas áreas de la médula espinal están expandidas formando las **intumescencias** de la médula espinal que se observan en la figura 14.1a. La **intumescencia cervical** da los nervios de la cintura pectoral y de los miembros superiores; la **intumescencia lumbosacra** proporciona inervación a las estructuras de la pelvis y los miembros inferiores.

Por debajo de la intumescencia lumbosacra, la médula espinal se estrecha en un extremo cónico denominado **cono medular**, a nivel de la primera vértebra lumbar o inferior a la misma. Unos filamentos delgados de tejido fibroso, el **filum terminal** («hilo terminal»), se extienden desde el extremo inferior del cono medular a lo largo de la longitud del canal vertebral hasta el dorso del cóccix (v. figura 14.1a,c). Allí proporciona un soporte longitudinal a la médula espinal como componente del *ligamento coccígeo*.

Toda la médula espinal puede dividirse en 31 segmentos. Cada segmento se identifica designándolo con una letra y un número. Por ejemplo, C_3 es el tercer segmento cervical (v. figura 14.1a).

Cada segmento medular se asocia con un par de **ganglios de la raíz dorsal** que contienen los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas. Estos ganglios sensitivos se sitúan entre los pedículos de las vértebras adyacentes [p. 161].

A cada lado de la médula espinal, una **raíz dorsal** típica contiene los axones de las neuronas sensitivas del ganglio de la raíz dorsal (v. figura 14.1b,c). Anterior a la raíz dorsal, sale de la médula espinal la **raíz ventral**. La raíz ventral contiene los axones de las neuronas motoras somáticas y, en algunos niveles, de las neuronas motoras viscerales que controlan los efectores periféricos. Las raíces dorsal y ventral de cada segmento entran y salen del canal vertebral entre las vértebras adyacentes por los *agujeros intervertebrales* [p. 162]. Las raíces dorsales generalmente son más gruesas que las ventrales.

Distalmente a cada ganglio de la raíz dorsal, las fibras sensitivas y motoras forman un único **nervio espinal** (v. figuras 14.1d, 14.2c y 14.3). Los nervios raquídeos se clasifican como **nervios mixtos** porque contienen tanto fibras aferentes (sensitivas) como eferentes (motoras). La figura 14.3 muestra los nervios raquídeos cuando salen por los agujeros intervertebrales.

La médula espinal continúa aumentando de grosor y longitud hasta que el individuo tiene aproximadamente 4 años de edad. Hasta ese momento, el crecimiento de la médula espinal se produce al mismo ritmo que el de la columna vertebral y los segmentos de la médula espinal se encuentran alineados con las correspondientes vértebras. Las raíces ventrales y dorsales son cortas y salen del canal vertebral a través de los agujeros intervertebrales adyacentes.

Después de los 4 años de edad la columna vertebral continúa creciendo; sin embargo, la médula espinal no lo hace. Este crecimiento vertebral lleva los ganglios de la raíz dorsal y los nervios raquídeos más y más lejos de su posición original en relación con la médula espinal. Como consecuencia de esto, las raíces dorsales y ventrales se alargan gradualmente. La médula espinal del adulto se extiende sólo hasta el nivel de la primera o la segunda vértebra lumbar; por tanto, el segmento medular S_2 se sitúa a nivel de la vértebra L_1 (v. figura 14.1a).

Cuando se observaron en la disección macroscópica, el filum terminal y las largas raíces ventrales y dorsales que se extienden caudales al cono medular recordaron a los primeros anatomistas a la cola de un caballo. Pensando en esto, el complejo se denominó la **cola de caballo** o *cauda equina* (*cauda,* cola + *equus,* caballo) (v. figura 14.1a,c).

Meninges espinales

[v. figuras 14.1b,c/14.2/14.4]

La columna vertebral y los ligamentos, tendones y músculos circundantes aíslan la médula espinal del entorno exterior [p. 215]. Los delicados tejidos nerviosos también deben estar protegidos contra contactos perjudiciales con las paredes óseas circundantes del canal vertebral. Unas membranas especializadas, conocidas en conjunto como **meninges espinales** proporcionan protección, estabilidad física y absorción de los impactos (v. figura 14.1b,c). Las meninges espinales cubren la médula espinal y rodean las raíces de los nervios raquídeos (v. figura 14.2).

Los vasos sanguíneos que se ramifican en estas capas también transportan oxígeno y nutrientes a la médula espinal. Existen tres capas meníngeas: la *duramadre*, la *aracnoides* y la *piamadre*. En el agujero magno del cráneo, las meninges espinales se continúan con las **meninges craneales** que rodean el cerebro. (Las meninges craneales, que tienen las tres mismas capas, se describirán en el capítulo 15.)

Duramadre [v. figuras 14.1b,c/14.2]

La **duramadre** (*dura*, dura + *mater*, madre) resistente y fibrosa forma la cubierta más externa de la médula espinal y el cerebro (v. figura 14.1b,c). La duramadre de la médula espinal consta de una capa de tejido conjuntivo irregular denso cuyas superficies externa e interna están cubiertas por un epitelio escamoso simple. El epitelio externo no está unido a las paredes óseas del canal vertebral, y el **espacio epidural** intermedio contiene tejido areolar, vasos sanguíneos y tejido adiposo (v. figura 14.2d).

Las inserciones localizadas de la duramadre en el borde del agujero magno del cráneo, en la segunda y tercera vértebras cervicales, en el sacro y en el ligamento longitudinal posterior sirven para estabilizar la médula espinal en el canal vertebral.

Caudalmente, la duramadre espinal se estrecha desde una vaina hasta un denso cordón de fibras de colágeno que finalmente se unen a componentes del filum terminal para formar el **ligamento coccígeo**. El ligamento coccígeo se extiende a lo largo del canal sacro y se entreteje con el periostio del sacro y el cóccix. Las inserciones craneales y sacras proporcionan estabilidad longitudinal. El soporte lateral está proporcionado por los tejidos conjuntivos del espacio epidural y por las prolongaciones de la duramadre que acompañan a las raíces de los nervios raquídeos cuando pasan a través de los agujeros intervertebrales. Distalmente, el tejido conjuntivo de la duramadre espinal se continúa con la vaina de tejido conjuntivo que rodea cada nervio espinal (v. figura 14.2 a,c,d).

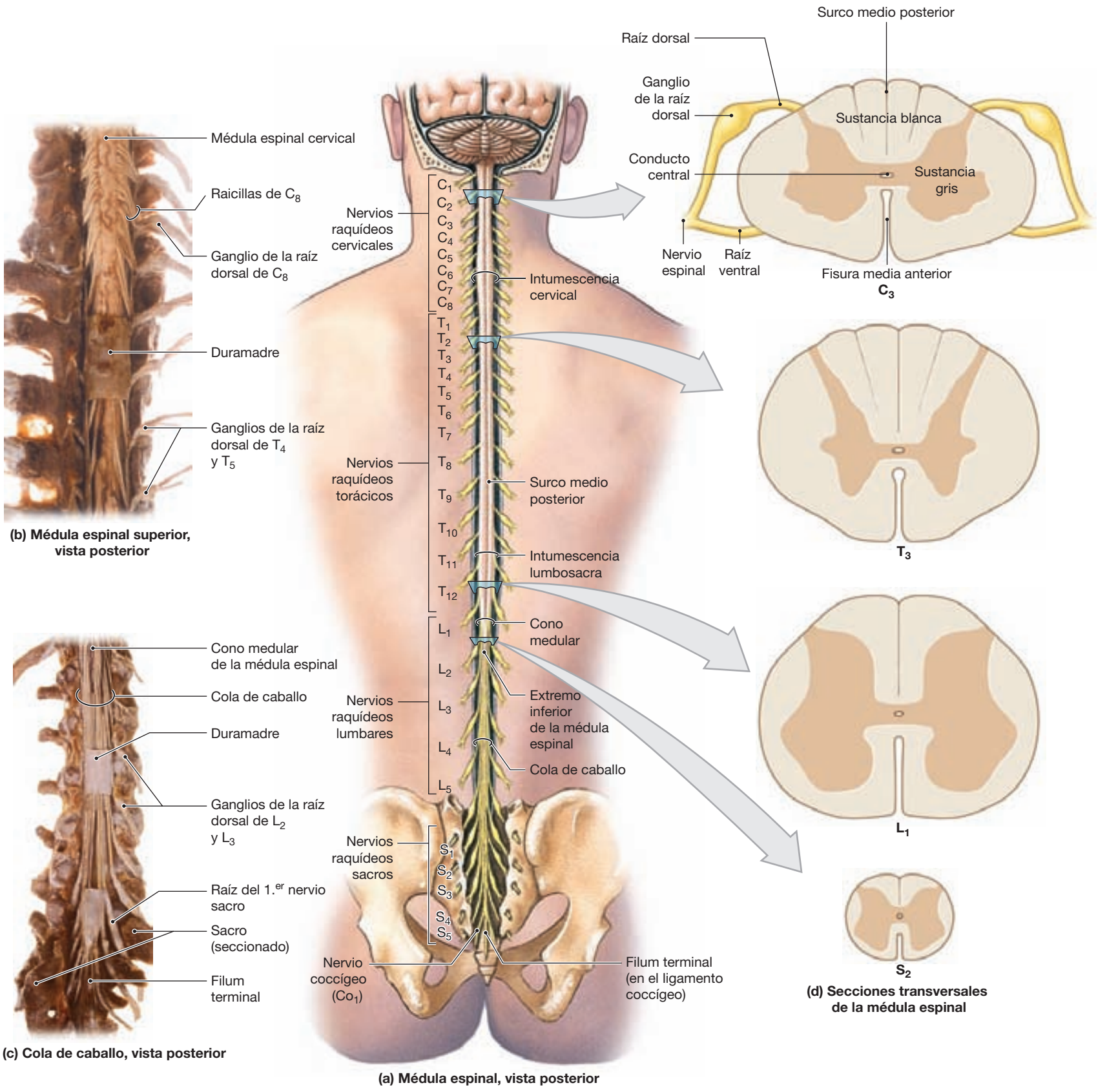
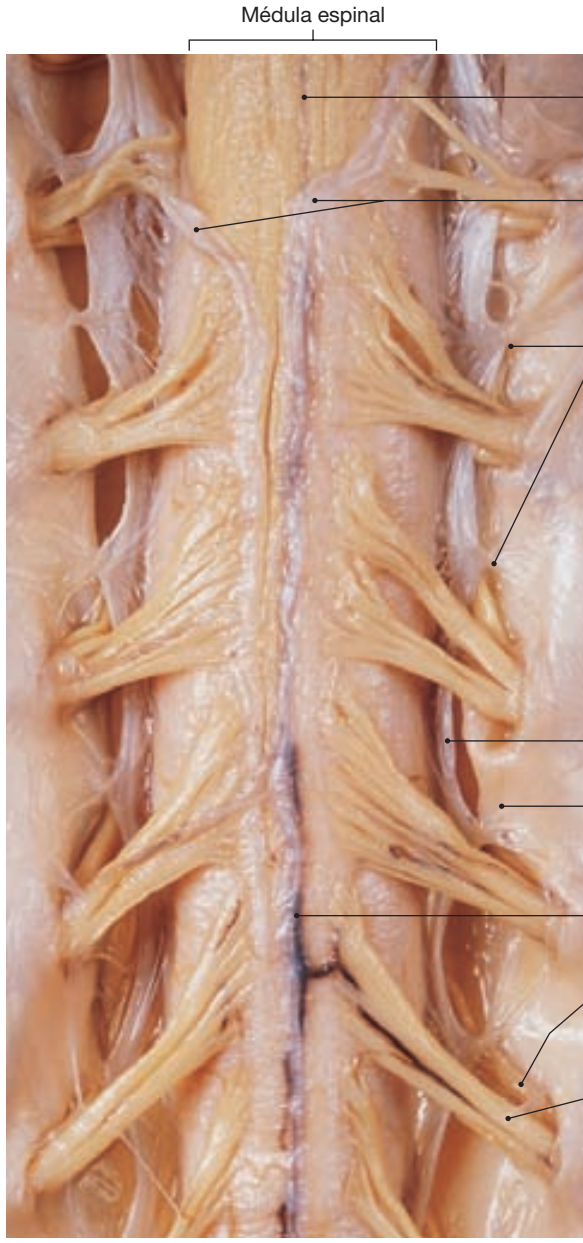
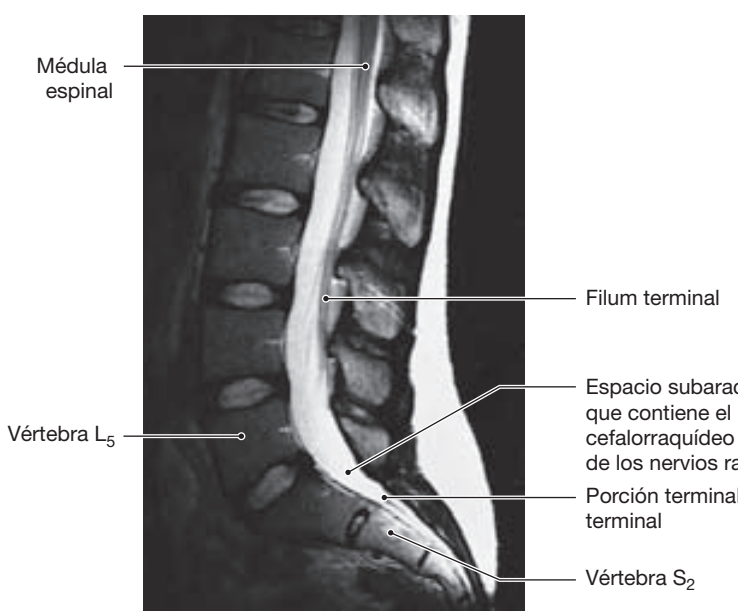


Figura 14.1 Anatomía macroscópica de la médula espinal

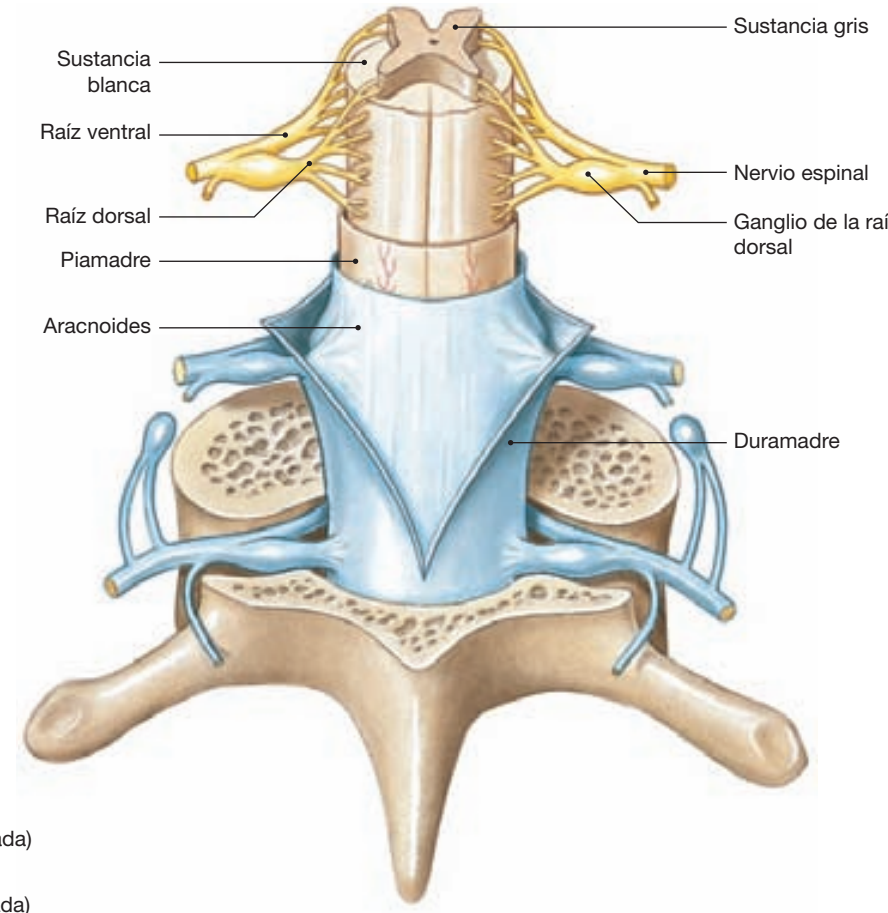
La médula espinal se extiende hacia abajo desde la base del cerebro a lo largo del canal vertebral. **(a)** Anatomía superficial y orientación de la médula espinal del adulto. Los números de la izquierda identifican los nervios raquídeos e indican dónde salen las raíces nerviosas del canal vertebral. La médula espinal, sin embargo, se extiende desde el cerebro sólo hasta el nivel de las vértebras L_1-L_2. **(b)** Vista posterior de una disección de la médula espinal cervical. **(c)** Vista posterior de una disección del cono medular, la cola de caballo, el filum terminal y las raíces de los nervios raquídeos asociados. **(d)** Vistas inferiores de secciones transversales a través de segmentos representativos de la médula espinal, mostrando la disposición de la sustancia gris y blanca.



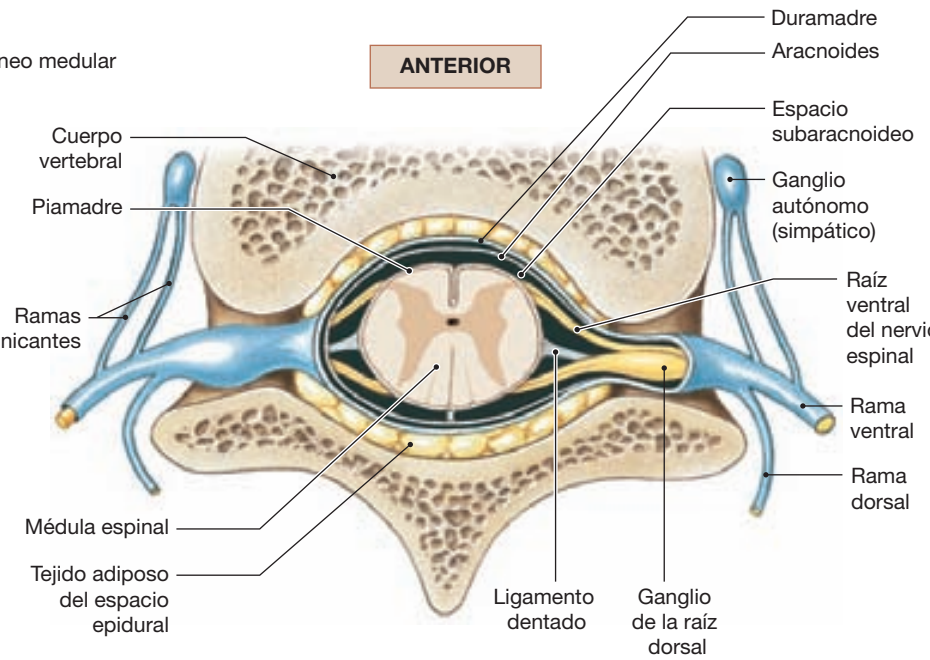
(a) Vista anterior


Médula espinal
Filum terminal
Vértebra L_5
Espacio subaracnoideo que contiene el líquido cefalorraquídeo y las raíces de los nervios raquídeos
Porción terminal del filum terminal
Vértebra S_2

(b) RM, vista seccional



(c) Vista posterior



(d) Vista seccional

Figura 14.2 Médula espinal y meninges espinales
(a) Vista anterior de la médula espinal que muestra las meninges y los nervios raquídeos. Para mostrar esta vista, las membranas duramadre y aracnoides se han seccionado longitudinalmente y se han retraído (llevado hacia un lado); obsérvense los vasos sanguíneos que circulan en el espacio subaracnoideo, unidos a la superficie externa de la delicada piamadre. **(b)** RM de la porción inferior de la médula espinal que muestra su relación con la columna vertebral. **(c)** Vista posterior de la médula espinal que muestra las capas meníngeas, las referencias superficiales y la distribución de la sustancia gris y blanca. **(d)** Vista en una sección a través de la médula espinal y las meninges que muestra la distribución periférica de los nervios raquídeos.

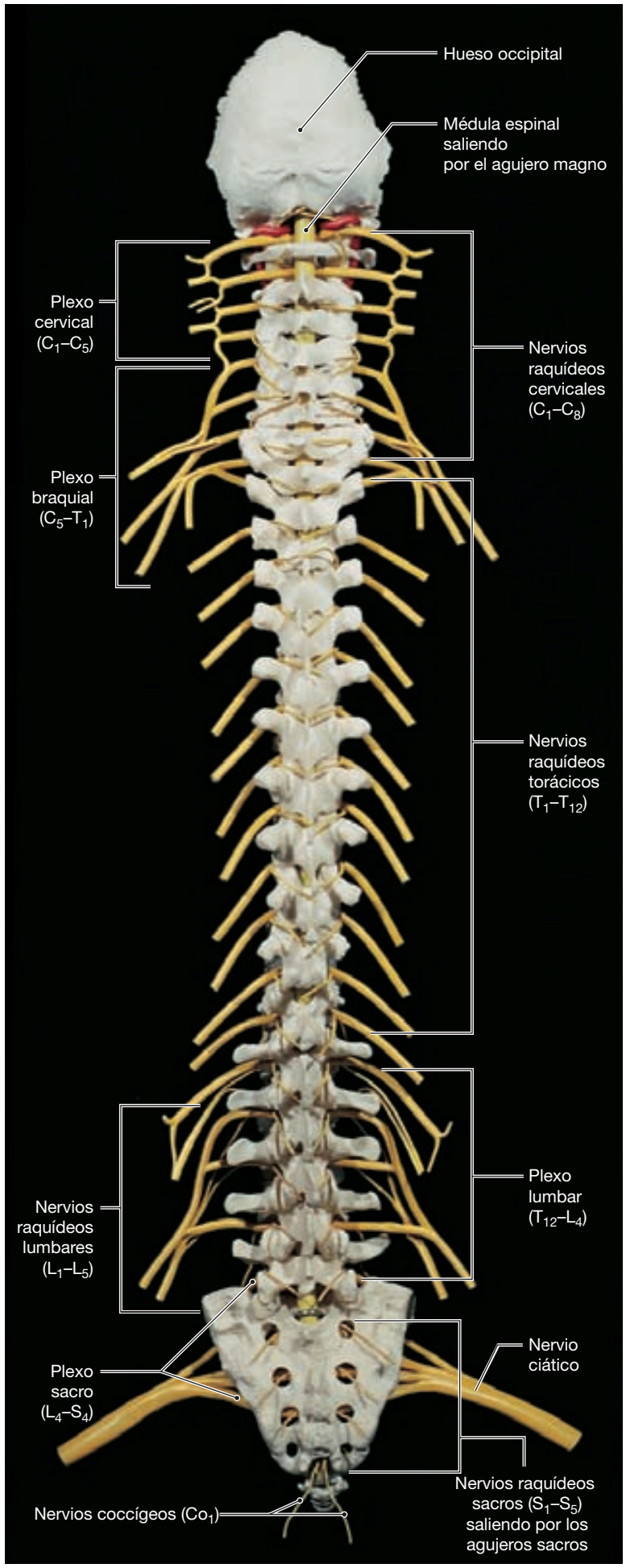


Figura 14.3 **Vista posterior de la columna vertebral y los nervios raquídeos**

Aracnoides [v. figuras 14.2a,c,d/14.4]

En la mayoría de las preparaciones anatómicas e histológicas existe un estrecho **espacio subdural** que separa la duramadre de las capas meníngeas más profundas.

Sin embargo, es probable que en vida no exista tal espacio y que la superficie interna de la duramadre esté en contacto con la superficie externa de la **aracnoides** (*arachne*, araña) (**v. figura 14.2a,c**). La aracnoides, la capa meníngea media, consta de un epitelio escamoso simple. Está separada de la capa más interna, la *piamadre,* por el **espacio subaracnoideo**. Este espacio contiene el **líquido cefalorraquídeo (LCR)** que actúa como absorbente de los impactos y como medio de difusión de los gases, nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho disueltos. El líquido cefalorraquídeo fluye a través de una red de fibras de colágeno y elastina producidas por fibroblastos modificados.

Desde la superficie interna de la aracnoides hasta la superficie externa de la piamadre se extienden unos haces de fibras conocidos como *trabéculas aracnoideas*. El espacio subaracnoideo y la función del líquido cefalorraquídeo se tratarán en el capítulo 15. Puede accederse con facilidad al espacio subaracnoideo de las meninges espinales entre L_3 y L_4 (**v. figura 14.4**) para el examen clínico del líquido cefalorraquídeo o para la administración de anestésicos.

Piamadre [v. figura 14.2]

El espacio subaracnoideo se sitúa entre el epitelio aracnoideo y la capa meníngea más interna, la **piamadre** (*pia*, delicado + *mater*, madre) como se observa en la **figura 14.2a,c,d**.

Las fibras elásticas y de colágeno de la piamadre están entremezcladas con las de las trabéculas aracnoideas. Los vasos sanguíneos que irrigan la médula espinal se encuentran aquí. La piamadre está firmemente unida al tejido nervioso subyacente, dando forma a sus protuberancias y fisuras. La superficie de la médula espinal consta de una fina capa de astrocitos, y las extensiones citoplasmáticas de estas células gliales mantienen en su lugar las fibras de colágeno de la piamadre espinal.

A lo largo de la longitud de la médula espinal, los pares de **ligamentos dentados** son extensiones de la piamadre espinal que conectan la piamadre y la aracnoides espinal con la duramadre (**v. figura 14.2a,d**). Estos ligamentos se originan a lo largo de cada lado de la médula espinal entre las raíces ventrales y dorsales. Comienzan en el agujero occipital del cráneo y en conjunto ayudan a prevenir el movimiento lateral y el movimiento hacia abajo de la médula espinal.

Las fibras de tejido conjuntivo de la piamadre espinal continúan desde el extremo inferior del cono medular formando el filum terminal. Como se comentó anteriormente, el filum terminal se entremezcla con el ligamento coccígeo; esta disposición evita el movimiento hacia arriba de la médula espinal.

Las meninges espinales rodean las raíces dorsales y ventrales en los agujeros intervertebrales. Como se observa en la **figura 14.2c,d**, las membranas meníngeas se continúan con los tejidos conjuntivos que rodean los nervios raquídeos y sus ramas periféricas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿La lesión de qué raíz de un nervio espinal interferiría con la función motora?
2. Identifique la localización del líquido cefalorraquídeo que rodea la médula espinal.
3. ¿Cuáles son las dos intumescencias medulares? ¿Por qué tienen un mayor diámetro estas regiones de la médula espinal?
4. ¿Qué se encuentra en un ganglio de la raíz dorsal?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Punciones espinales, mielografía, anestesia medular y anestesia caudal Las muestras tisulares, o *biopsias*, se toman de muchos órganos para ayudar en el diagnóstico. Por ejemplo, cuando se sospecha un trastorno hepático o cutáneo, se extraen pequeños tapones de tejido o líquido tisular y se examinan en busca de signos de daño celular o se utilizan para identificar los microorganismos causantes de una infección. Al contrario que muchos otros tejidos, sin embargo, el tejido nervioso consta en gran medida de células más que de líquidos extracelulares o fibras. Raramente se extraen muestras tisulares para su análisis debido a cualquier neurona extraída o lesionada no será reemplazada. En su lugar, se recoge y analiza un pequeño volumen del líquido cefalorraquídeo (LCR). El LCR está íntimamente asociado al tejido nervioso del SNC y los patógenos, detritos celulares y desechos metabólicos del SNC son detectables en el LCR.

La extracción de líquido cefalorraquídeo, conocida como **punción medular**, debe hacerse con cuidado para evitar lesionar la médula espinal. La médula espinal del adulto se extiende sólo hasta la vértebra L_1 o L_2. Entre la vértebra L_2 y el sacro las capas meníngeas permanecen intactas, pero sólo envuelven los componentes relativamente resistentes de la cola de caballo y una cantidad significativa de LCR. Con la columna vertebral flexionada, puede introducirse una aguja entre las vértebras lumbares inferiores en el espacio subaracnoideo con un riesgo mínimo para la cola de caballo. En este procedimiento, conocido como **punción lumbar (PL)**, se toman 3-9 mL de líquido del espacio subaracnoideo entre las vértebras L_3 y L_4 (v. figura 14.4a). Las punciones espinales se realizan cuando se sospecha una infección del SNC o cuando se diagnostican cefaleas graves, problemas discales, algunos tipos de ictus y otras alteraciones del nivel de conciencia.

La **mielografía** consiste en la introducción de contrastes radioopacos en el LCR del espacio subaracnoideo. Puesto que los contrastes son opacos a los rayos X, el LCR aparece blanco en la radiografía (v. figura 14.4b).

Podrá mostrar la silueta de cualquier tumor, inflamación o adherencia que distorsione o desvíe la circulación del LCR. En el espacio subaracnoideo pueden inyectarse medicación para el dolor y/o anestésicos locales. En el caso de infección o inflamación graves, o leucemia (cáncer de la serie blanca sanguínea) también pueden inyectarse antibióticos, esteroides o fármacos anticancerosos.

Los anestésicos pueden utilizarse para controlar el funcionamiento de los nervios raquídeos en localizaciones específicas. La inyección de un anestésico local alrededor de un nervio espinal produce un bloqueo temporal de la función nerviosa sensitiva y motora. Este procedimiento puede hacerse periféricamente, como cuando se suturan laceraciones cutáneas, o en localizaciones alrededor de la médula espinal para obtener un efecto anestésico más amplio. Un *bloqueo epidural* (la inyección de un anestésico en el espacio epidural de la médula espinal) tiene la ventaja de: 1) afectar sólo a los nervios raquídeos del área inmediata a la inyección, y 2) producir principalmente anestesia sensitiva. Si se deja en la zona un catéter, la inyección continua permite una anestesia mantenida. La anestesia epidural puede ser difícil de conseguir en la región cervical alta y torácica media, donde el espacio epidural es extremadamente estrecho. Es más eficaz en la región lumbar baja, inferior al cono medular, porque el espacio epidural es en cierto modo más amplio.

La **anestesia caudal** implica la introducción de anestésicos en el espacio epidural del sacro. La inyección en esta localización paraliza y anestesia las estructuras abdominales bajas y perineales. La anestesia caudal puede utilizarse para controlar el dolor durante el parto y el alumbramiento, pero con frecuencia se prefiere la anestesia epidural lumbar.

Los anestésicos locales también pueden introducirse en dosis única en el espacio subaracnoideo de la médula espinal. Este procedimiento se denomina frecuentemente «anestesia medular». Sin embargo, los efectos incluyen tanto parálisis muscular como pérdida sensitiva temporales que tienden a extenderse a medida que el movimiento del líquido cefalorraquídeo distribuye el anestésico a lo largo de la médula espinal. Los problemas por sobredosificación raramente son serios porque el control de la posición del paciente durante la administración puede limitar la distribución del fármaco hasta un cierto grado. Además, puesto que los músculos respiratorios diafragmáticos están controlados por los nervios raquídeos cervicales altos, la respiración continúa incluso aunque se hayan paralizado todos los segmentos torácicos y abdominales.

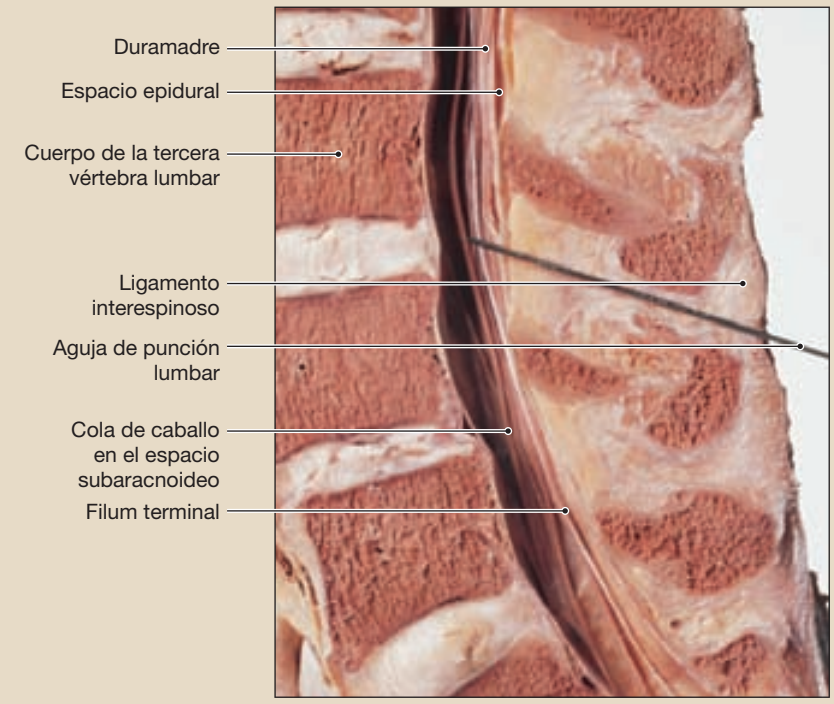


Figura 14.4 Punciones espinales y mielografía
(a) La posición de la aguja de punción lumbar está en el espacio subaracnoideo, cerca de los nervios de la cola de caballo. La aguja se ha insertado en la línea media entre las apófisis espinosas de la tercera y cuarta vértebras lumbares, orientada en un ángulo superior hacia el ombligo. Una vez que la aguja punciona correctamente la duramadre y entra en el espacio subaracnoideo, puede obtenerse una muestra de LCR. **(b)** Mielografía, una radiografía de la médula espinal después de la introducción de un contraste radioopaco en el LCR, que muestra la cola de caballo en la región lumbar inferior.

Anatomía seccional de la médula espinal [v. figura 14.5]

La fisura media anterior y el surco medio posterior son referencias longitudinales que siguen la división entre el lado izquierdo y derecho de la médula espinal (v. figura 14.5). Existe una masa central de **sustancia gris** en forma de H en la que predominan los cuerpos celulares de las neuronas y células gliales. La sustancia gris rodea el estrecho **conducto central** que se localiza en la rama horizontal de la H. Las proyecciones de la sustancia gris hacia la superficie externa de la médula espinal se denominan **astas** (v. figura 14.5a,b). La **sustancia blanca** situada periféricamente contiene gran número de axones mielinizados y no mielinizados que se organizan en *tractos* y *columnas* [p. 345].

Organización de la sustancia gris [v. figura 14.5b,c]

Los cuerpos celulares de las neuronas de la sustancia gris de la médula espinal se organizan en grupos denominados *núcleos*, con funciones específicas. Los **núcleos sensitivos** reciben y transmiten la información sensitiva de los receptores periféricos, como los receptores táctiles localizados en la piel. Los **núcleos motores** emiten las órdenes motoras a los efectores periféricos, como los músculos estriados (v. figura 14.5b). Los núcleos motores y sensitivos pueden extenderse en una distancia considerable a lo largo de la longitud de la médula espinal. Una sección frontal a lo largo del eje del conducto central separa los núcleos sensitivos (dorsales) de los núcleos motores (ventrales).

Las **astas grises posteriores** (dorsales) contienen los núcleos sensitivos somáticos y viscerales, mientras que las **astas grises anteriores** (ventrales) contienen las neuronas relacionadas con el control motor somático. Las **astas grises laterales** *(astas intermedias)*, que se encuentran entre los segmentos T_1 y L_2, contienen las neuronas motoras viscerales. Las **comisuras grises** (*commissura*, lo que une) contienen los axones que cruzan de un lado de la médula al otro antes de alcanzar un destino en la sustancia gris (v. figura 14.5b). Existen dos comisuras grises, una posterior y otra anterior al conducto central.

La figura 14.5b muestra la relación entre la función de un núcleo particular (sensitivo o motor) y su posición relativa en la sustancia gris de la médula espinal. Los núcleos sensitivos están dispuestos en la sustancia gris de modo que las fibras que entran en la médula espinal más inferiormente (como las de la pierna o la cadera) se localizan más medialmente que las fibras que entran a un nivel más alto (tronco o brazo). Los núcleos de cada asta gris también están muy organizados. Los núcleos motores se organizan de modo que los nervios que inervan los músculos estriados de estructuras más proximales (como el tronco y el hombro) se localizarán más medialmente en la sustancia gris que los núcleos que inervan los músculos estriados de estructuras más distales (antebrazo y mano). La figura 14.5b,c ilustra la distribución de los núcleos motores somáticos en las astas grises anteriores de la intumescencia cervical. El tamaño de las astas anteriores varía con el número de músculos estriados inervados por ese segmento. Por tanto, las astas anteriores son más grandes en la región cervical y lumbar, que controlan los músculos asociados con los miembros.

Organización de la sustancia blanca [v. figura 14.5]

La sustancia blanca puede dividirse en regiones o **columnas** *(cordones)* (v. figura 14.5c). Las **columnas blancas posteriores** están emparedadas entre las astas grises posteriores y el surco medio posterior. Las **columnas blancas anteriores** se sitúan entre las astas grises anteriores y la fisura media anterior; están interconectadas por la **comisura blanca anterior**. La sustancia blanca a cada lado entre las columnas anteriores y posteriores representa las **columnas blancas laterales**.

Cada columna contiene **tractos** o *fascículos* cuyos axones comparten características funcionales y estructurales (los tractos específicos se detallan en el capítulo 16). Un tracto específico transporta información sensitiva o bien órdenes motoras, y los axones de un tracto son relativamente uniformes en relación con su diámetro, mielinización y velocidad de conducción. Todos los axones de un tracto transmiten la información en la misma dirección.

Los pequeños tractos comisurales llevan señales sensitivas o motoras entre los segmentos de la médula espinal; otros tractos más grandes conectan la médula espinal con el cerebro. Los **tractos ascendentes** llevan información sensitiva hacia el cerebro, y los **tractos descendentes** conducen las órdenes motoras en la médula espinal. En cada columna, los tractos se separan de acuerdo con el destino de la información motora o la fuente de la información sensitiva que transportan. Como consecuencia, los tractos muestran una organización regional comparable a la que se encuentra en los núcleos de la sustancia gris (v. figura 14.5b,c). La identidad de los principales tractos del SNC se tratará cuando se consideren las vías sensitivas y motoras en el capítulo 16.

Nota clínica

Lesiones de la médula espinal Las lesiones de la médula espinal producen síntomas de pérdida sensitiva o parálisis motora que reflejan los núcleos y tractos específicos afectados. Al inicio, cualquier lesión grave de la médula espinal produce un período de parálisis sensitiva y motora denominado *shock medular.* Los músculos estriados se vuelven fláccidos; no existen funciones reflejas somáticas ni viscerales; y el cerebro no recibe la sensibilidad táctil, dolorosa, al calor ni al frío. La localización y gravedad de la lesión determina la extensión y duración de estos síntomas y qué cantidad de recuperación tiene lugar.

Las sacudidas violentas, como las asociadas a golpes o heridas por arma de fuego, pueden causar una **conmoción medular** sin un daño visible de la médula espinal. La contusión medular produce un período de shock medular, pero los síntomas sólo son temporales y la recuperación puede ser completa en cuestión de horas. Las lesiones más graves, como las de latigazo o las caídas, generalmente implican un daño físico de la médula espinal. En una **contusión medular** existen hemorragias en las meninges y la médula espinal, aumenta la presión en el líquido cefalorraquídeo y la sustancia blanca de la médula espinal puede degenerar en el lugar de la lesión. La recuperación gradual durante un período de semanas puede dejar cierta afectación funcional. La recuperación de una **laceración medular** por fragmentos vertebrales u otros cuerpos extraños generalmente será mucho más lenta y menos completa. La **compresión medular** se produce cuando la médula espinal llega a estar físicamente apretada o distorsionada en el canal vertebral. En una **sección medular** la médula espinal está completamente seccionada. Los procedimientos quirúrgicos actuales no pueden reparar una médula espinal seccionada, pero las técnicas experimentales han restaurado una función parcial en ratas de laboratorio.

Las lesiones medulares a menudo incluyen cierta combinación de compresión, laceración, contusión y sección parcial. Aliviar la presión y estabilizar el área afectada mediante cirugía puede prevenir un daño adicional y permitir que la médula espinal lesionada se recupere lo más posible. Una lesión extensa en o por encima de la cuarta o quinta vértebra cervical anulará la sensibilidad y el control motor de los miembros superiores e inferiores. La parálisis extensa producida se denomina **cuadriplejía**. Si el daño se extiende desde C_3 hasta C_5, la parálisis motora incluirá todos los músculos respiratorios principales, y el paciente generalmente necesitará asistencia mecánica para respirar. La **paraplejía**, la pérdida del control motor de los miembros inferiores, puede seguir a una lesión de las vértebras torácicas y la médula espinal. Las lesiones de las vértebras lumbares inferiores pueden comprimir o distorsionar los elementos de la cola de caballo causando problemas de la función nerviosa periférica.

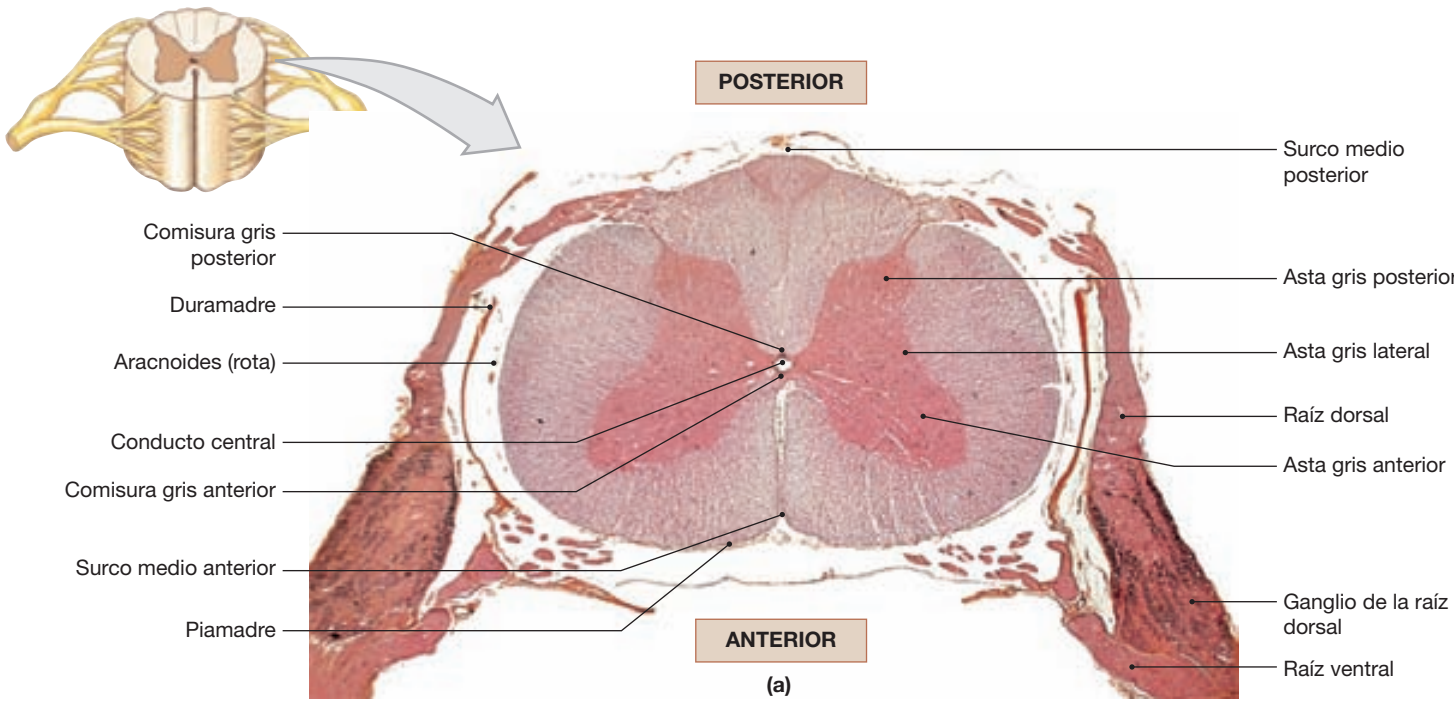


Figura 14.5 Organización seccional de la médula espinal

(a) Histología de la médula espinal, sección transversal. **(b)** La mitad izquierda de esta vista en una sección muestra las referencias anatómicas importantes; la mitad derecha indica la organización funcional de la sustancia gris en las astas grises anterior, lateral y posterior. **(c)** La mitad izquierda de esta vista en una sección muestra las principales columnas de la sustancia blanca. La mitad derecha indica la organización anatómica de los tractos sensitivos en la columna blanca posterior en comparación con la organización de los núcleos motores del asta gris anterior. Obsérvese que tanto los componentes sensitivos como motores de la médula espinal tienen una organización regional definida.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Un paciente con polio ha perdido el uso de los músculos de su pierna. ¿En qué área de la médula espinal esperaría localizar las neuronas motoras infectadas por el virus en este individuo?
2. ¿Cómo está organizada la sustancia blanca en la médula espinal?
3. ¿Cuál es el término utilizado para describir las proyecciones de la sustancia gris hacia la superficie externa de la médula espinal?
4. ¿Cuál es la diferencia entre los tractos ascendentes y los tractos descendentes de la sustancia blanca?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nervios raquídeos [v. figuras 14.1/14.6]

Existen 31 pares de nervios raquídeos: ocho nervios raquídeos cervicales, 12 torácicos, cinco lumbares, cinco sacros y un nervio espinal coccígeo. Cada uno puede identificarse por su asociación con las vértebras adyacentes. Cada nervio espinal tiene un número regional, como se indicaba en la **figura 14.1**, p. 363.

En la región cervical, el primer par de nervios raquídeos C_1 sale entre el cráneo y la primera vértebra cervical. Por esta razón, los nervios cervicales toman su nombre de la vértebra inmediatamente *siguiente* a ellos. En otras palabras, el nervio cervical C_2 *precede* a la vértebra C_2 y el mismo sistema se utiliza para el resto de los nervios raquídeos cervicales. La transición de este método de identificación se produce entre la última vértebra cervical y la primera torácica.

El nervio espinal situado entre la última vértebra cervical y la primera torácica se ha designado C_8 y se muestra en la **figura 14.1b**. Por tanto, existen siete vértebras cervicales pero *ocho* nervios cervicales. Los nervios raquídeos caudales a la primera vértebra torácica toman sus nombres de la vértebra que los *precede* inmediatamente. Por tanto, el nervio espinal T_1 sale inmediatamente caudal a la vértebra T_1, el nervio espinal T_2 sigue a la vértebra T_2 y así sucesivamente.

Cada nervio periférico tiene tres capas de tejido conjuntivo: un *epineuro* externo, un *perineuro* central y un *endoneuro* interno (**v. figura 14.6**). Estas son comparables a las capas de tejido conjuntivo asociadas a los músculos estriados [p. 238]. El **epineuro** es una vaina fibrosa dura que forma la capa más externa de un nervio periférico. Consta de tejido conjuntivo irregular denso compuesto principalmente de fibras de colágeno y fibrocitos. En cada agujero intervertebral, el epineuro de un nervio espinal se hace continuo con la duramadre de la médula espinal.

El **perineuro** está compuesto de fibras de colágeno, fibras elásticas y fibrocitos. El perineuro divide el nervio en una serie de compartimentos que contienen haces de axones. Un único haz de axones se conoce como **fascículo.**

Los nervios periféricos deben estar aislados y protegidos de los componentes químicos del líquido intersticial y la circulación general. La *barrera hematoneural*, formada por las fibras del tejido conjuntivo y las células fibrocitarias del epineuro, actúa como barrera de difusión.

El **endoneuro** consta de tejido conjuntivo laxo dispuesto de forma irregular, compuesto de fibras de fino tejido conjuntivo colágeno y elástico y unos pocos fibrocitos aislados que rodean los axones individuales. Los capilares que salen del perineuro se ramifican en el endoneuro y proporcionan oxígeno y nutrientes a los axones y las células de Schwann del nervio.

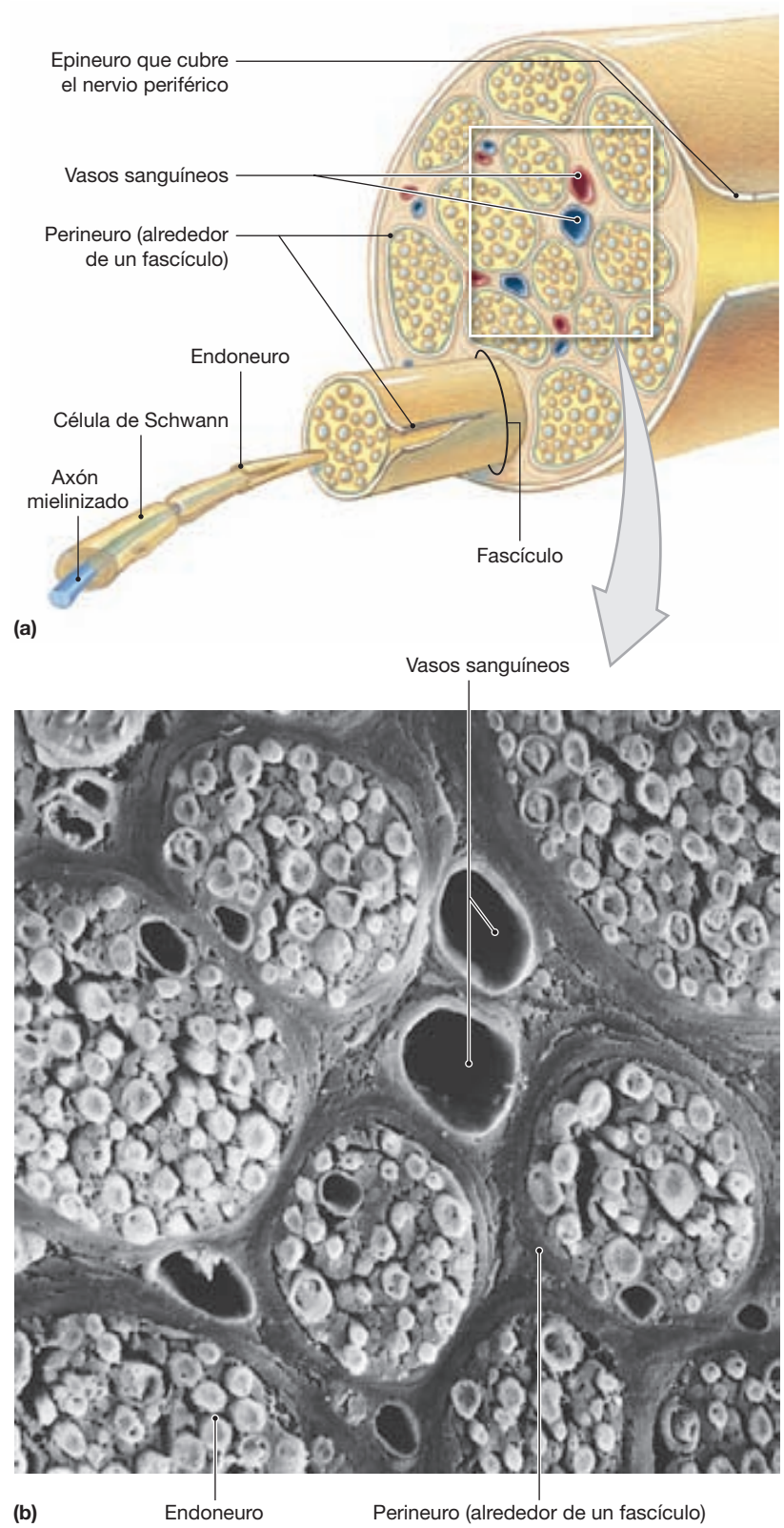


Figura 14.6 Anatomía de un nervio periférico
Un nervio periférico consta de un epineuro externo que envuelve un número variable de fascículos (haces de fibras nerviosas). Los fascículos están rodeados por el perineuro, y en cada fascículo los axones individuales, que están envueltos por las células de Schwann, están rodeados por el endoneuro. **(a)** Un nervio periférico típico y sus envueltas de tejido conjuntivo. **(b)** Microfotografía electrónica que muestra las diferentes capas a gran detalle (BME × 425).
[© R. G. Kessel y R. H. Kardon, *«Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy,» W. H. Freeman & Co., 1979*. Todos los derechos reservados.]

Distribución periférica de los nervios raquídeos [v. figura 14.2a,c,d/14.7/14.8]

Cada nervio espinal se forma mediante la fusión de las raíces nerviosas dorsales y ventrales cuando esas raíces atraviesan el agujero intervertebral; las únicas excepciones son C_1 y Co_1, en las que algunas personas carecen de raíces dorsales (**v. figura 14.2 a,c,d**, p. 364). Distalmente, el nervio espinal se divide en varias ramas. Todos los nervios raquídeos forman dos ramas, una *rama dorsal* y una *rama ventral*. Para los nervios raquídeos T_1 a L_2 existen cuatro ramas: una rama blanca y una rama gris que en conjunto se conocen como

ramas comunicantes, una rama dorsal y una rama ventral (v. figura 14.7). Las ramas comunicantes llevan fibras motoras viscerales hasta y desde un **ganglio autónomo** cercano asociado a la *división simpática* del SNA. (Examinaremos esta división en el capítulo 17.) Puesto que los axones preganglionares están mielinizados, la rama que lleva esas fibras hasta el ganglio tiene un color claro y se le conoce como **rama blanca** (*ramus*, rama). Del ganglio salen dos grupos de fibras posganglionares no mielinizadas. Las que inervan las glándulas y el músculo liso de las paredes corporales o los miembros forman una segunda rama, la **rama gris**, que vuelve a unirse al nervio espinal. La rama gris típicamente es proximal a la rama blanca. Las fibras preganglionares o posganglionares que inervan los órganos internos no vuelven a unirse a los nervios raquídeos. En su lugar, forman una serie de nervios autónomos independientes, como los *nervios esplácnicos*, implicados en la regulación de las actividades de los órganos de la cavidad abdominopélvica.

La **rama dorsal** de cada nervio espinal proporciona la inervación sensitiva a un segmento específico de la piel y lleva la información motora a los músculos de ese segmento en el cuello y la espalda. La región inervada recuerda a una banda horizontal que comienza en el origen del nervio espinal. La **rama ventral** relativamente grande inerva la superficie ventrolateral del cuerpo, las estructuras de las paredes corporales y también los miembros.

La distribución de las fibras sensitivas en la rama dorsal y ventral ilustra la división segmentaria del funcionamiento a lo largo de la longitud de la médula espinal (v. figura 14.7b). Cada par de nervios raquídeos controla una región específica de la superficie corporal, área conocida como **dermatoma** (v. figura 14.8). Los dermatomas son clínicamente importantes porque una lesión de un nervio espinal o un ganglio de la raíz dorsal producirá una pérdida de sensibilidad característica en áreas específicas de la piel.

Plexos nerviosos [v. figuras 14.3/14.7 y 14.9]

El patrón de distribución que se ilustra en la figura 14.7 se aplica a los nervios raquídeos T_1-L_2. Las ramas comunicantes blancas y grises sólo se encuentran en estos segmentos; sin embargo, las ramas grises, las ramas dorsales y las ramas ventrales son características de todos los nervios raquídeos. Las ramas dorsales proporcionan aproximadamente la inervación sensitiva segmentaria, como evidencia el patrón de los dermatomas. La alineación segmentaria no es exacta porque los límites son imprecisos y existe cierto solapamiento entre los dermatomas adyacentes. Pero en los segmentos que controlan la musculatura estriada del cuello y los miembros superiores e inferiores, la distribución periférica de las ramas ventrales no avanza directamente hasta sus objetivos periféricos. En su lugar, las ramas ventrales de los nervios raquídeos adyacentes combinan sus fibras para producir una serie de troncos nerviosos compuestos. Esta red compleja de nervios entremezclados se denomina **plexo nervioso** («trenza»). Los plexos nerviosos se forman durante el desarrollo cuando los pequeños músculos estriados se fusionan con sus vecinos para formar músculos más grandes con orígenes compuestos. Aunque los límites anatómicos entre los

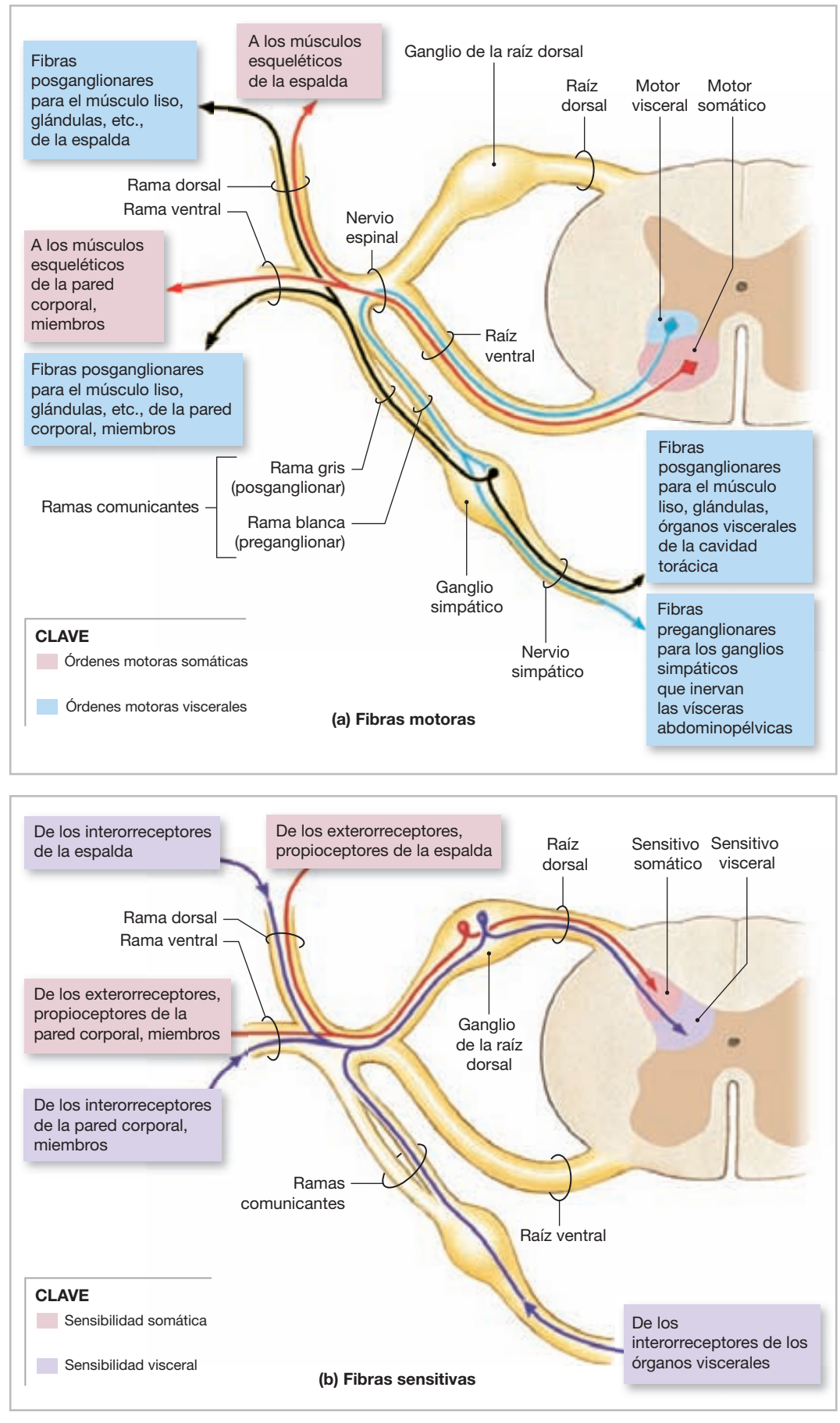

Fibras posganglionares para el músculo liso, glándulas, etc., de la espalda
A los músculos esqueléticos de la espalda
Ganglio de la raíz dorsal
Raíz dorsal
Motor visceral
Motor somático
Rama dorsal
Rama ventral
Nervio espinal
A los músculos esqueléticos de la pared corporal, miembros
Raíz ventral
Fibras posganglionares para el músculo liso, glándulas, etc., de la pared corporal, miembros
Rama gris (posganglionar)
Ramas comunicantes
Rama blanca (preganglionar)
Ganglio simpático
Fibras posganglionares para el músculo liso, glándulas, órganos viscerales de la cavidad torácica
Fibras preganglionares para los ganglios simpáticos que inervan las vísceras abdominopélvicas
Nervio simpático
CLAVE
Órdenes motoras somáticas
Órdenes motoras viscerales
(a) Fibras motoras
De los interorreceptores de la espalda
De los exterorreceptores, propioceptores de la espalda
Raíz dorsal
Sensitivo somático
Sensitivo visceral
Rama dorsal
Rama ventral
De los exterorreceptores, propioceptores de la pared corporal, miembros
Ganglio de la raíz dorsal
De los interorreceptores de la pared corporal, miembros
Ramas comunicantes
Raíz ventral
CLAVE
Sensibilidad somática
Sensibilidad visceral
De los interorreceptores de los órganos viscerales
(b) Fibras sensitivas

Figura 14.7 Distribución periférica de los nervios raquídeos
Vista esquemática que ilustra la distribución de las fibras en las ramas principales de un nervio espinal torácico representativo. **(a)** Distribución de las neuronas motoras en la médula espinal y de las fibras motoras en el nervio espinal y sus ramas. Aunque la rama gris típicamente es proximal a la rama blanca, esta vista esquemática simplificada hace más sencillo seguir las relaciones entre las fibras preganglionares y posganglionares. **(b)** Una vista similar que detalla la distribución de las neuronas sensitivas y las fibras sensitivas.

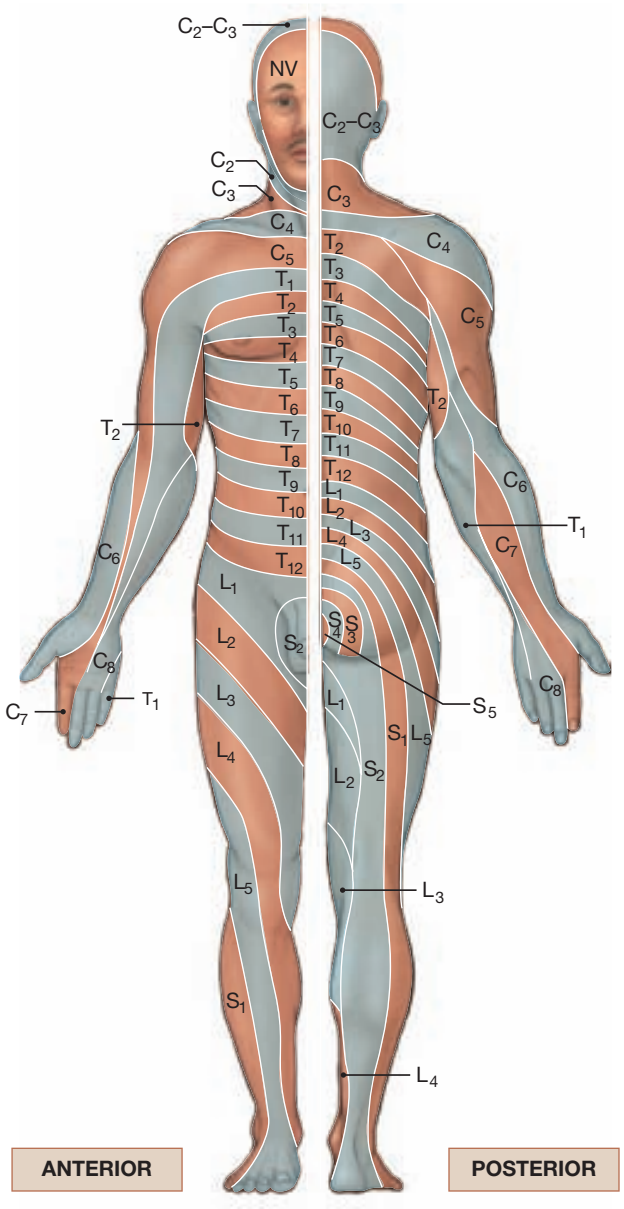


Figura 14.8 **Dermatomas**
Distribución anterior y posterior de los dermatomas; se indican los nervios raquídeos relacionados para cada dermatoma.

músculos embrionarios desaparecen, el patrón original de inervación se mantiene intacto. Por ello los «nervios» que inervan estos músculos compuestos en el adulto contienen fibras sensitivas y motoras de las ramas ventrales que inervaban los músculos embrionarios. Los plexos nerviosos existen donde las ramas ventrales convergen y se ramifican para formar estos nervios compuestos. Los cuatro plexos nerviosos principales son el *plexo cervical*, el *plexo braquial*, el *plexo lumbar* y el *plexo sacro* (**v. figuras 14.3**, p. 365, y **14.9**).

Figura 14.9 **Nervios periféricos y plexos nerviosos**

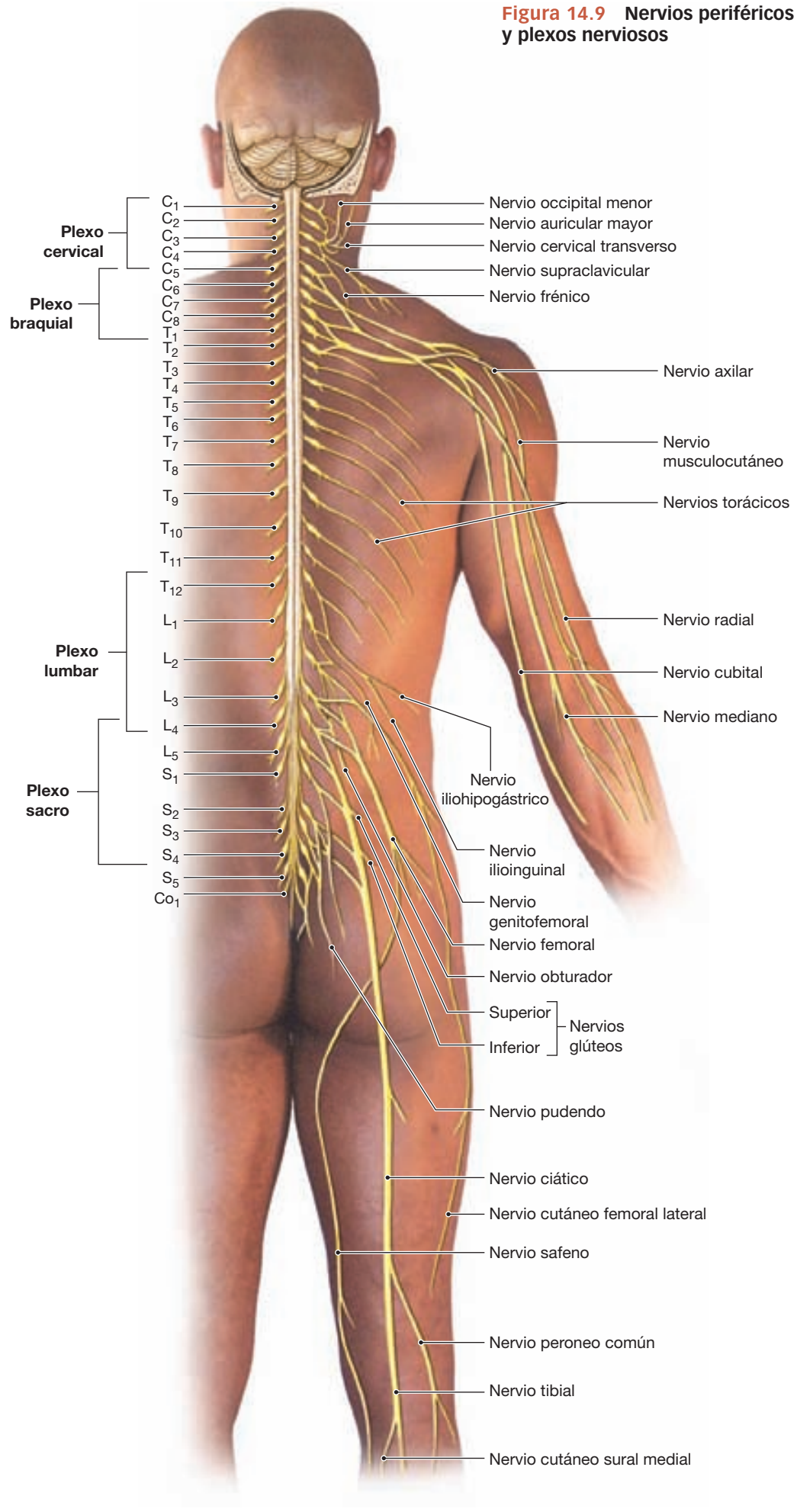


TABLA 14.1 Plexo cervical

Segmentos medulares	Nervios	Distribución
C_1–C_4	Asa cervical (ramas superiores e inferiores)	Cinco de los músculos laríngeos extrínsecos (esternotiroideo, esternohioideo, omohioideo, genihioideo y tirohioideo) por medio del N XII
C_2–C_3	Nervios occipital menor, cervical transverso, supraclaviculares y auricular mayor	Piel de la parte superior del tórax, hombro, cuello y oído
C_3–C_5	Nervio frénico	Diafragma
C_1–C_5	Nervios cervicales	Músculos elevadores de la escápula, escalenos, esternocleidomastoideo y trapecio (con el N XI)

Plexo cervical [v. figuras 14.9/14.10 y tabla 14.1]

El **plexo cervical** (v. figuras 14.9 y 14.10) consta de ramas cutáneas y musculares de las ramas ventrales de los nervios raquídeos C_1-C_4 y algunas fibras nerviosas de C_5. El plexo cervical se sitúa profundo al músculo esternocleidomastoideo [p. 271] y anterior al músculo escaleno medio y elevador de la escápula [pp. 274-276, 286].

Las ramas cutáneas de este plexo inervan áreas de la cabeza, el cuello y el tórax. Las ramas musculares inervan los músculos del cuello omohioideo, esternohioideo, genihioideo, tirohioideo y esternotiroideo [p. 272], los músculos del cuello y el hombro esternocleidomastoideo, escaleno, elevador de la escápula y trapecio [pp. 272, 276, 287], y el diafragma [p. 276].

El **nervio frénico**, el principal nervio de este plexo, aporta toda la inervación al diafragma. Las figuras 14.9 y 14.10 identifican los nervios responsables del control de los músculos estriados axiales y apendiculares que se consideran en los capítulos 10 y 11.

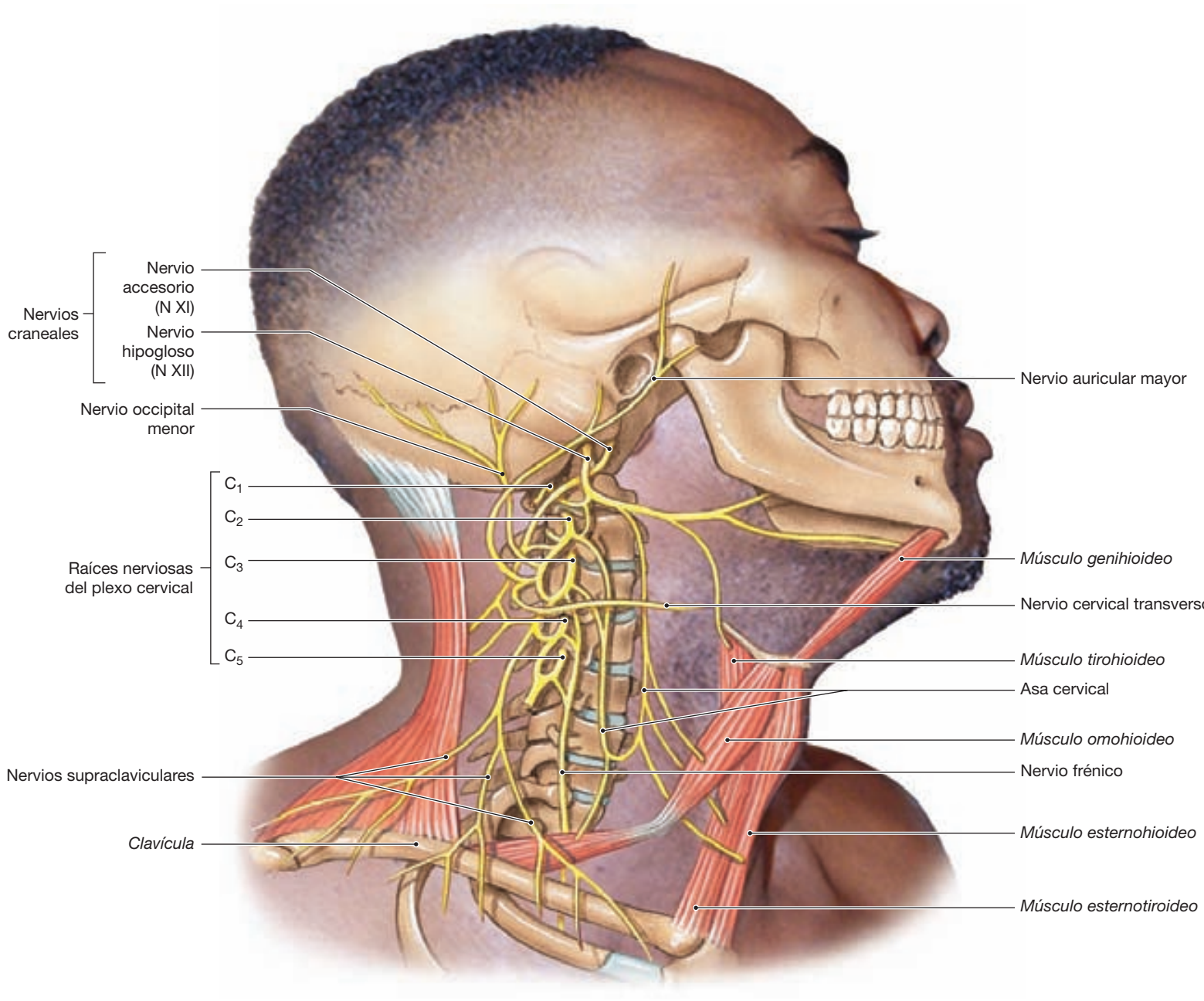


Figura 14.10 Plexo cervical

Plexo braquial [v. figuras 14.9/14.11/14.12 y tabla 14.2]

El **plexo braquial** es mayor y más complejo que el plexo cervical. Inerva la cintura pectoral y el miembro superior. El plexo braquial está formado por las ramas ventrales de los nervios raquídeos C_5-T_1 (v. figuras 14.9, 14.11a,b y 14.12). Las ramas ventrales convergen para formar los **troncos superior, medio** e **inferior**. Cada uno de estos troncos se divide después en una **división anterior** y una **división posterior.** Las tres divisiones posteriores se unirán para formar el **cordón posterior,** mientras que las divisiones anteriores del tronco superior y medio se unen para formar el **cordón lateral.** El **cordón medial** está formado por una continuación de la división anterior del tronco inferior. Los nervios del plexo braquial se originan de uno o más troncos o cordones cuyos nombres indican sus posiciones en relación con la arteria axilar, una gran arteria que irriga el miembro superior. El cordón lateral forma exclusivamente el **nervio musculocutáneo** y, junto con el cordón medial, contribuye al **nervio mediano.** El **nervio cubital** es otro nervio principal del cordón medial. El cordón posterior da lugar al **nervio axilar** y al **nervio radial.** Las figuras 14.9 y 14.11 identifican estos nervios así como los nervios más pequeños responsables del control de los músculos estriados axiales y apendiculares que se consideran en los capítulos 10 y 11 [pp. 275, 276, 290, 293]. La tabla 14.2 proporciona información adicional acerca de estos y otros nervios principales del plexo braquial.

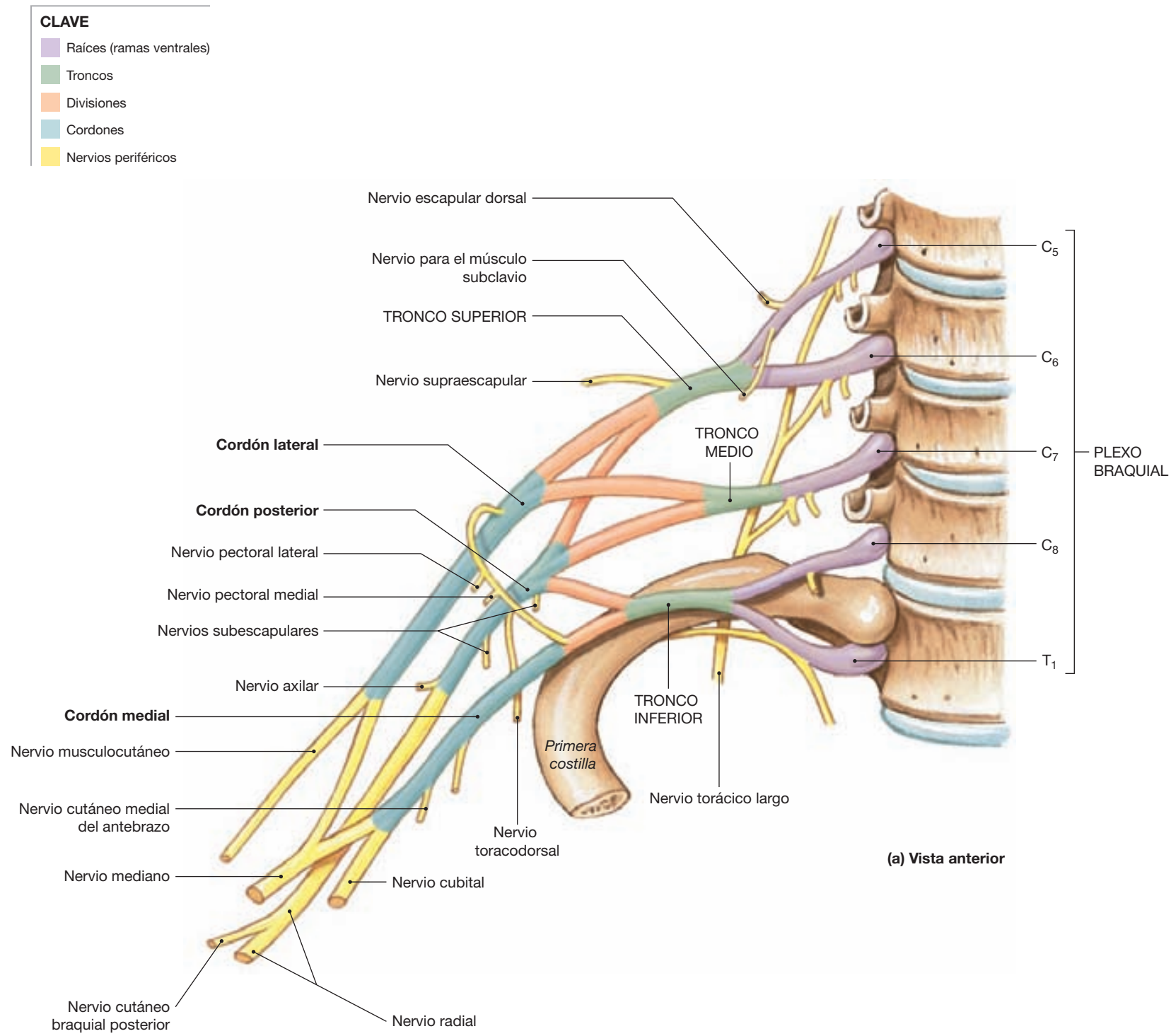
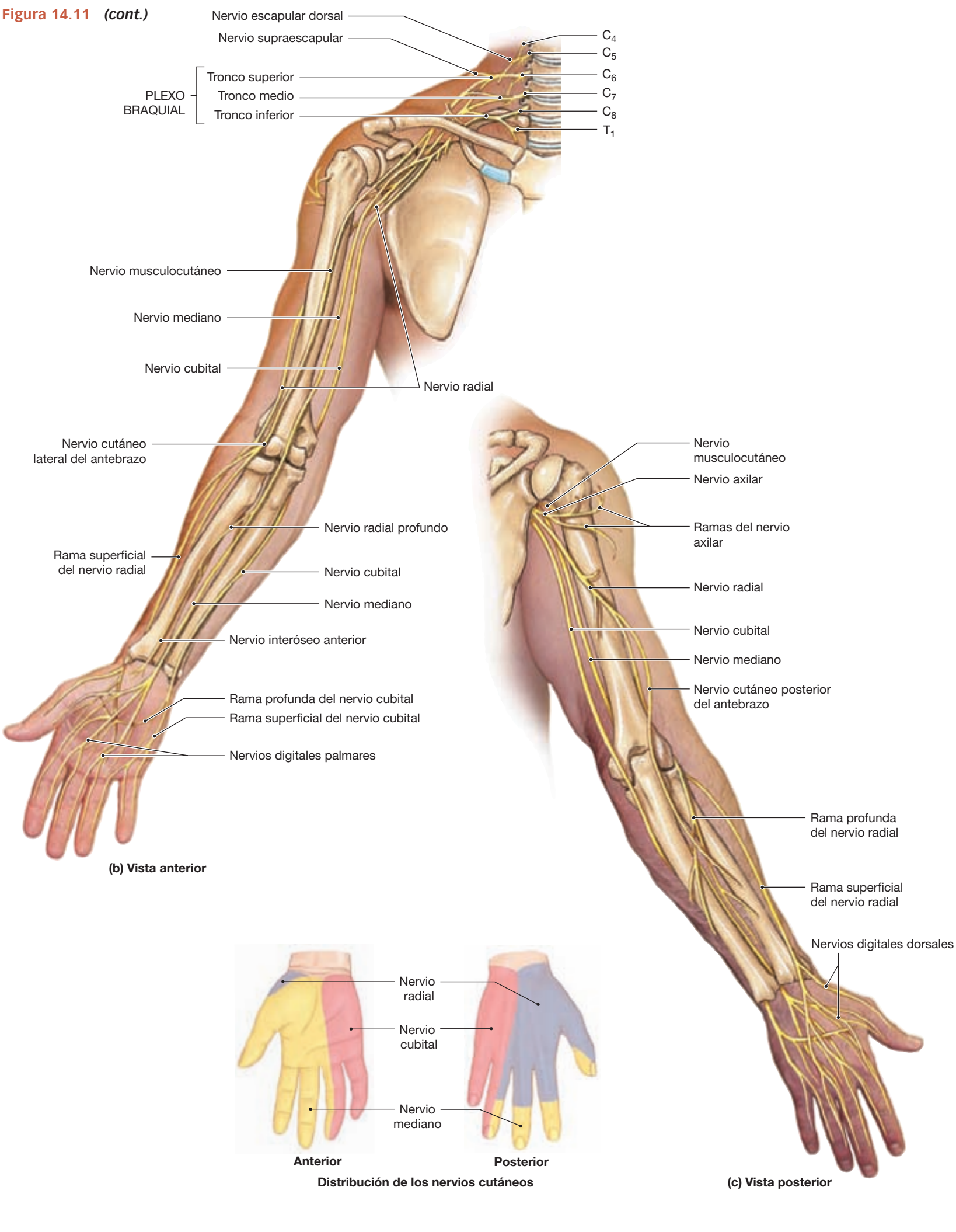


Figura 14.11 Plexo braquial

(a) Troncos y cordones del plexo braquial. **(b)** Vista anterior del plexo braquial y el miembro superior que muestra la distribución periférica de los principales nervios. **(c)** Vista posterior del plexo braquial y la inervación del miembro superior.

Figura 14.11 ***(cont.)***



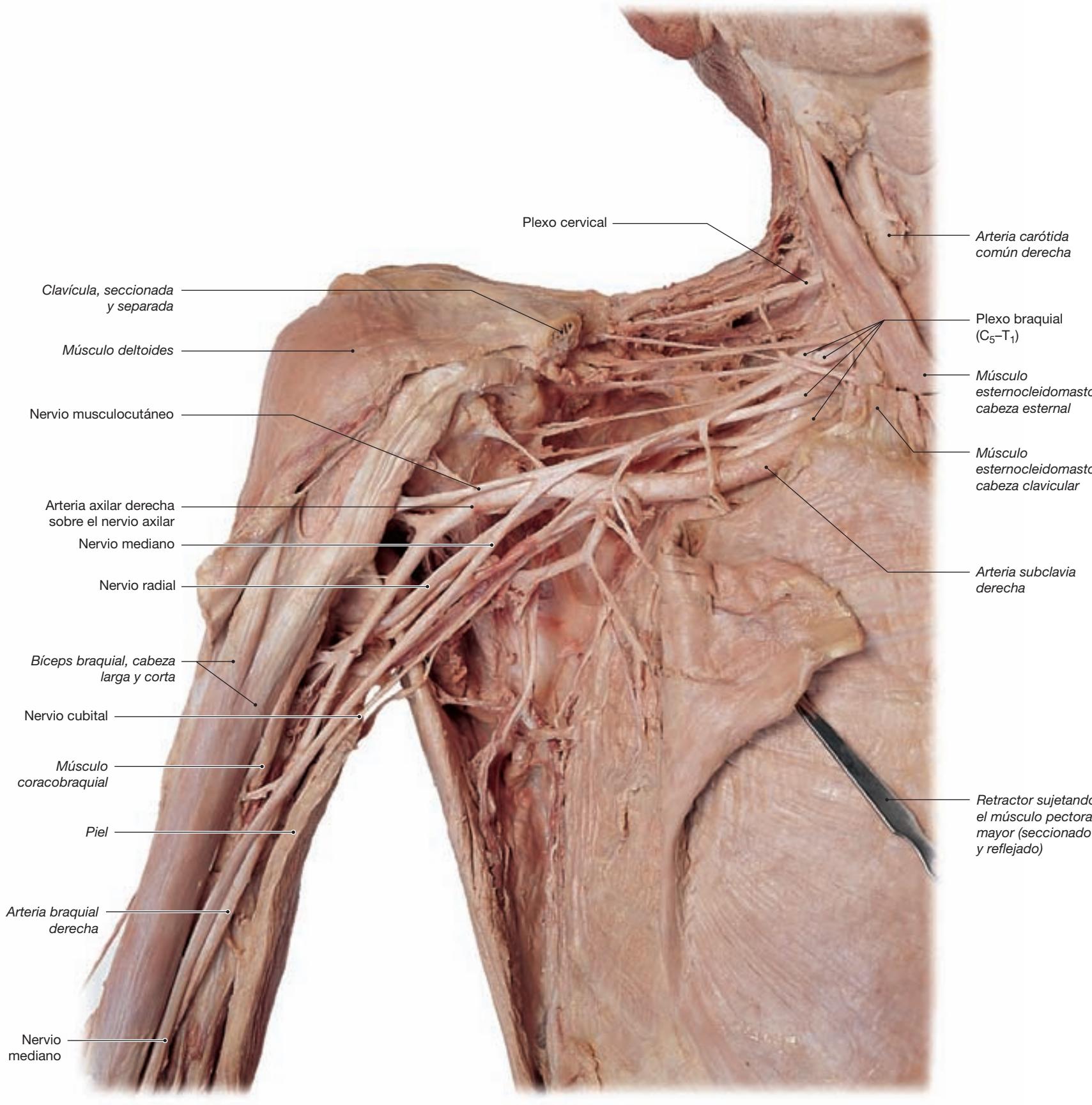


Figura 14.12 **Plexos cervical y braquial**
Esta disección muestra los principales nervios que se originan en los plexos cervical y braquial.

TABLA 14.2 Plexo braquial

Segmentos medulares	Nervio(s)	Distribución
C_4–C_6	Nervio para el subclavio	Músculo subclavio
C_5	Nervio escapular dorsal	Músculos romboides y elevador de la escápula
C_5–C_7	Nervio torácico largo	Músculo serrato anterior
C_5, C_6	Nervio supraescapular	Músculos supraespinoso e infraespinoso; sensibilidad de la articulación del hombro y de la escápula
C_5–T_1	Nervios pectorales (medial y lateral)	Músculos pectorales
C_5, C_6	Nervios subescapulares	Músculos subescapular y redondo mayor
C_6–C_8	Nervio toracodorsal	Músculo dorsal ancho
C_5, C_6	Nervio axilar	Músculos deltoides y redondo menor; sensibilidad de la piel del hombro
C_8–T_1	Nervio cutáneo medial del antebrazo	Sensibilidad de la piel de la superficie anteromedial del brazo y antebrazo
C_5–T_1	Nervio radial	Muchos músculos extensores del brazo y del antebrazo (músculos tríceps braquial, ancóneo, extensor radial del carpo, extensor cubital del carpo y braquiorradial); músculo supinador, músculos extensores de los dedos y músculo abductor del pulgar a través de la *rama profunda*; sensibilidad de la piel de la superficie posterolateral del miembro a través del *nervio cutáneo braquial posterior* (brazo), del *nervio cutáneo posterior del antebrazo* y de la *rama superficial* (porción radial de la mano)
C_5–C_7	Nervio musculocutáneo	Músculos flexores del brazo (músculos bíceps braquial, braquial y coracobraquial); sensibilidad de la piel de la superficie lateral del antebrazo a través del *nervio cutáneo lateral del antebrazo*
C_6–T_1	Nervio mediano	Músculos flexores del antebrazo (músculos flexor radial del carpo y palmar largo); músculos pronador cuadrado y pronador redondo; mitad radial del músculo flexor profundo de los dedos, flexores de los dedos (a través del *nervio interóseo anterior*); sensibilidad de la piel de la superficie anterolateral de la mano
C_8, T_1	Nervio cubital	Músculo flexor cubital del carpo, mitad cubital del músculo flexor profundo de los dedos, músculo aductor del pulgar y los músculos menores de los dedos a través de la *rama profunda;* sensibilidad de la piel de la superficie medial de la mano a través de la *rama superficial*

Plexos lumbar y sacro [v. figuras 14.9/14.13/14.14 y tabla 14.3]

El **plexo lumbar** y el **plexo sacro** se originan en los segmentos lumbares y sacros de la médula espinal. Las ramas ventrales de estos nervios inervan la pelvis y el miembro inferior (v. figuras 14.9, p. 371, y 14.13). Puesto que las ramas ventrales de ambos plexos se distribuyen hacia el miembro inferior, a menudo se hace referencia a ellos en conjunto como *plexo lumbosacro*. Los nervios que forman los plexos lumbar y sacro se detallan en la tabla 14.3.

El plexo lumbar se forma por las ramas ventrales de T_{12}-L_4. Los nervios principales del plexo lumbar son el **nervio genitofemoral,** el **nervio cutáneo femoral lateral** y el **nervio femoral.** El plexo sacro contiene las ramas ventrales de los nervios raquídeos L_4-S_4. Las ramas ventrales de L_4 y L_5 forman el **tronco lumbosacro** que contribuye al plexo sacro junto con las ramas ventrales de S_1-S_4 (v. figura 14.13a,b). Los principales nervios del plexo sacro son el **nervio ciático** y el **nervio pudendo.** El nervio ciático pasa posterior al fémur y profundo a la cabeza larga del músculo bíceps femoral. A medida que se aproxima a la fosa poplítea, el nervio ciático se divide en dos ramas: el **nervio peroneo común** y el **nervio tibial** (v. figuras 14.9, p. 371, y 14.14). Las figuras 14.9, p. 371, 14.13 y 14.14 muestran estos nervios así como los nervios más pequeños, que son responsables del control de los músculos axiales y apendiculares que se detallan en los capítulos 10 y 11.

Aunque los dermatomas pueden proporcionar claves para la localización de las lesiones a lo largo de la médula espinal, la pérdida de sensibilidad en la piel no aporta información precisa en relación con el lugar de la lesión porque los límites de los dermatomas no son líneas claramente definidas, precisas. Pueden extraerse conclusiones más exactas a partir de la afectación del control motor basándose en el origen y la distribución de los nervios periféricos que se originan en los plexos nerviosos. En la valoración de la ejecución motora se hace una distinción entre la capacidad consciente para controlar las actividades motoras y la ejecución de las respuestas motoras involuntarias automáticas. Estos últimos patrones motores programados, denominados *reflejos* se describirán a continuación.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿La lesión de qué plexos nerviosos interferiría con la capacidad de respirar?
2. Describa en orden, de la más externa a la más interna, las tres capas de tejido conjuntivo que rodean cada nervio periférico.
3. Distinga entre una rama blanca y una rama gris.
4. ¿Qué plexo nervioso puede haberse dañado si la actividad motora del brazo y el antebrazo están afectadas por la lesión?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Reflejos [v. figuras 14.15 a 14.18]

Las condiciones en el interior o el exterior del organismo pueden cambiar rápidamente y de forma inesperada. Un **reflejo** es una respuesta motora involuntaria inmediata a un estímulo específico (v. figuras 14.15 a 14.18). Los reflejos ayudan a preservar la homeostasis haciendo ajustes rápidos en la función de los órganos o sistemas orgánicos. La respuesta muestra poca variabilidad –la activación de un reflejo particular siempre produce la misma respuesta motora–. La «conexión» nerviosa de un reflejo simple se denomina **arco reflejo.** Un arco reflejo comienza en un receptor y termina en un efector periférico, como un

TABLA 14.3 Plexos lumbar y sacro

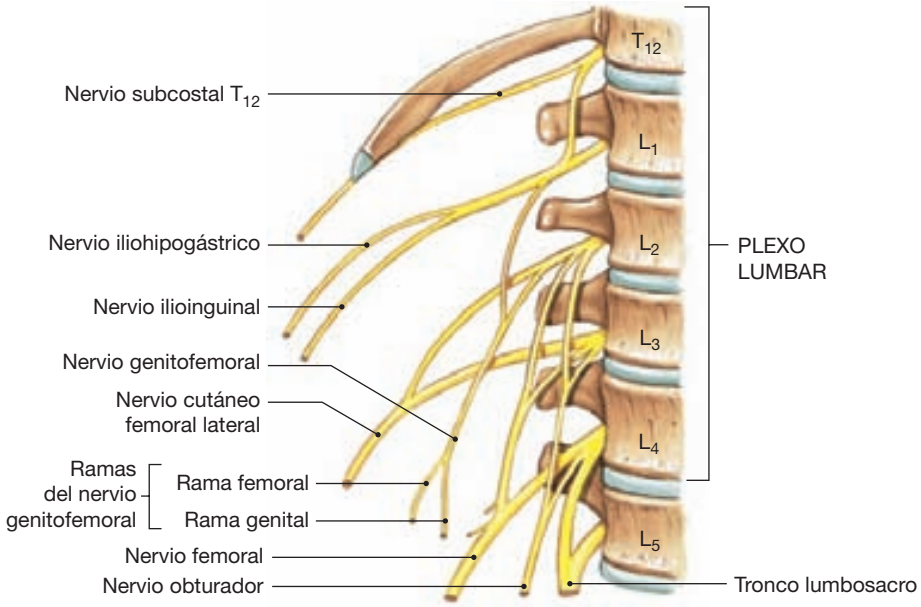
Segmento(s) medular(es)	Nervio(s)	Distribución
PLEXO LUMBAR		
T_{12}–L_1	Nervio iliohipogástrico	Músculos abdominales (músculos oblicuos externo e interno, músculos transversos del abdomen); piel del abdomen inferior y de las nalgas
L_1	Nervio ilioinguinal	Músculos abdominales (con el *nervio iliohipogástrico*); piel superomedial del muslo y porciones de los genitales externos
L_1, L_2	Nervio genitofemoral	Piel de la superficie anteromedial del muslo y porciones de los genitales externos
L_2, L_3	Nervio cutáneo femoral lateral	Piel de las superficies anterior, lateral y posterior del muslo
L_2–L_4	Nervio femoral	Músculos anteriores del muslo (músculo sartorio y grupo del cuádriceps); aductores de la cadera (músculos pectíneo e iliopsoas); piel de la superficie anteromedial del muslo, la superficie medial de la pierna y el pie
L_2–L_4	Nervio obturador	Aductores de la cadera (aductor mayor, corto y largo); músculo grácil; piel de la superficie medial del muslo
L_2–L_4	Nervio safeno	Piel de la superficie medial de la pierna
PLEXO SACRO		
L_4–S_2	Nervios glúteos:	
	Superior	Abductores de la cadera (glúteo menor, glúteo medio y tensor de la fascia lata)
	Inferior	Extensor de la cadera (glúteo mayor)
S_1–S_3	Nervio cutáneo femoral posterior	Piel del periné y de la superficie posterior del muslo y la pierna
L_4–S_3	Nervio ciático:	Dos de los isquiotibiales (semimembranoso y semitendinoso); aductor mayor (con el *nervio obturador*)
	Nervio tibial	Flexores de la rodilla y extensores (flexores plantares) del tobillo (músculos poplíteo, gastrocnemio, sóleo y tibial posterior y la cabeza larga del músculo bíceps femoral); flexores de los dedos del pie; piel de la superficie posterior de la pierna; superficie plantar del pie
	Nervio peroneo	Cabeza corta del músculo bíceps femoral; músculos peroneos (corto y largo) y tibial anterior; extensores de los dedos del pie; piel de la superficie anterior de la pierna y la superficie dorsal del pie; piel de la porción lateral del pie (a través del *nervio sural*)
S_2–S_4	Nervio pudendo	Músculos del periné, incluyendo el diafragma urogenital y los músculos esfínter anal externo y uretral; piel de los genitales externos y músculos estriados relacionados (músculos bulboesponjoso e isquiocavernoso)

Nota clínica

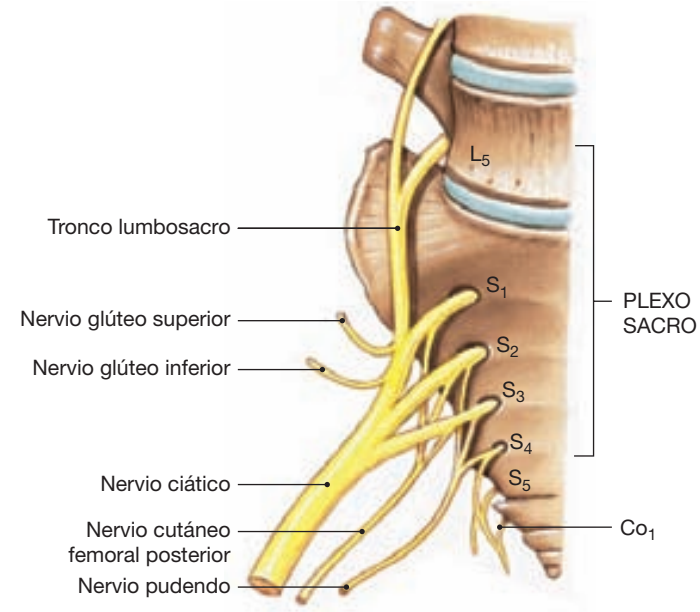
Neuropatías periféricas Las **neuropatías periféricas,** o *parálisis nerviosas periféricas*, se caracterizan por una afectación regional de la función sensitiva y motora como consecuencia de un traumatismo o compresión nerviosa. Las **parálisis braquiales** resultan de lesiones del plexo braquial o sus ramas.

Las parálisis por presión son especialmente interesantes; un ejemplo conocido aunque leve es la experiencia de «quedarse dormido» un brazo o una pierna. El miembro se queda entumecido, y después una sensación incómoda de «hormigueo» o **parestesia** acompaña al retorno de la función normal. Estos fenómenos raramente son clínicamente significativos, pero proporcionan ejemplos gráficos de los efectos de las parálisis más serias que pueden durar días a meses. En la **parálisis del nervio radial,** la presión sobre la parte posterior del brazo interrumpe la función del nervio radial, de modo que los extensores de la muñeca y los dedos están paralizados. Este trastorno también se conoce como «parálisis del sábado noche», porque quedarse dormido en un sofá con el brazo sobre el respaldo (o debajo de la cabeza de alguien) puede producir la combinación adecuada de presiones. Los estudiantes también pueden estar familiarizados con la **parálisis cubital** que puede ser resultado de un contacto prolongado entre el codo y un escritorio. El dedo anular y el dedo meñique pierden sensibilidad y los dedos no pueden aducirse. El *síndrome del túnel carpiano* es una neuropatía resultante de compresión del nervio mediano en la muñeca, donde pasa profundo al retináculo flexor con los tendones flexores. La flexión/extensión repetitiva en la muñeca puede irritar estas vainas tendinosas y la tumefacción a que da lugar es la que comprime el nervio mediano.

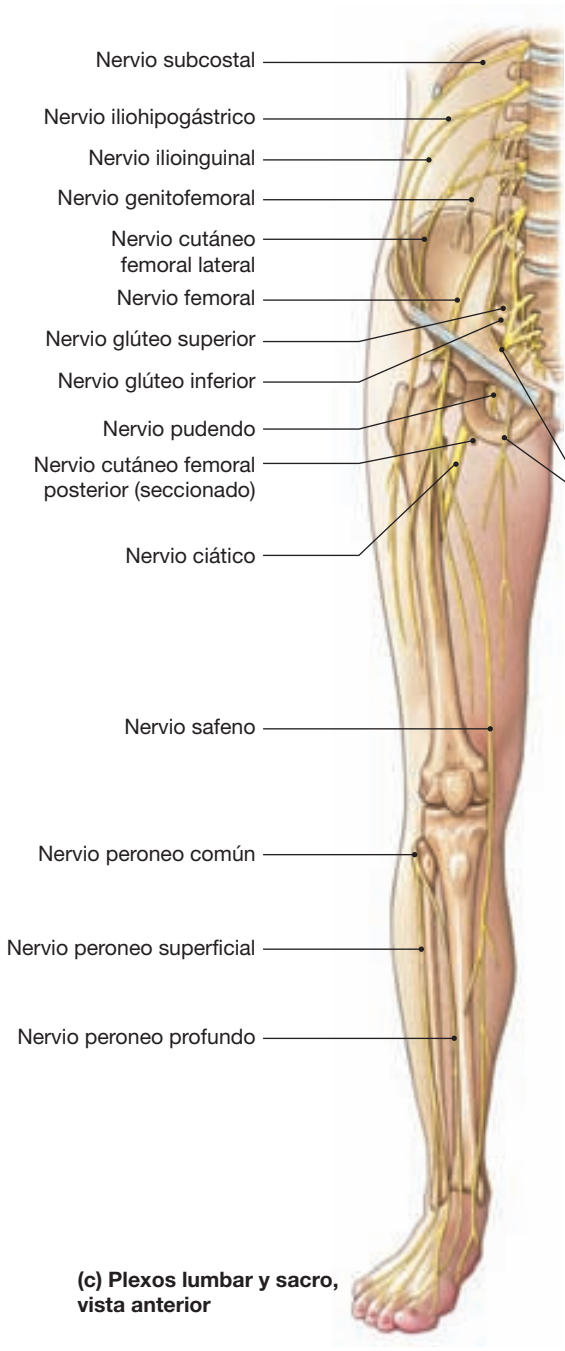
Las **parálisis crurales** afectan a los nervios del plexo lumbosacro. Las personas que llevan grandes billeteras en los bolsillos a nivel de la cadera pueden desarrollar síntomas de **compresión del ciático** después de conducir o sentarse en una posición durante períodos prolongados. Cuando la función del nervio disminuye, los individuos aprecian dolor lumbar o glúteo, entumecimiento a lo largo del dorso de la pierna y debilidad de los músculos de la pierna. Se producen síntomas similares por la compresión de las raíces nerviosas que forman el nervio ciático debido a la deformación de un disco intervertebral lumbar. Este trastorno se denomina **ciática** y pueden estar afectados uno o ambos miembros inferiores dependiendo del lugar de compresión. Finalmente, sentarse con las piernas cruzadas puede producir síntomas de una **parálisis peroneal.** La pérdida sensitiva desde la parte superior del pie y el lado de la pierna se acompaña de una disminución de la capacidad para la dorsiflexión del pie («pie caído») o para la eversión del pie.



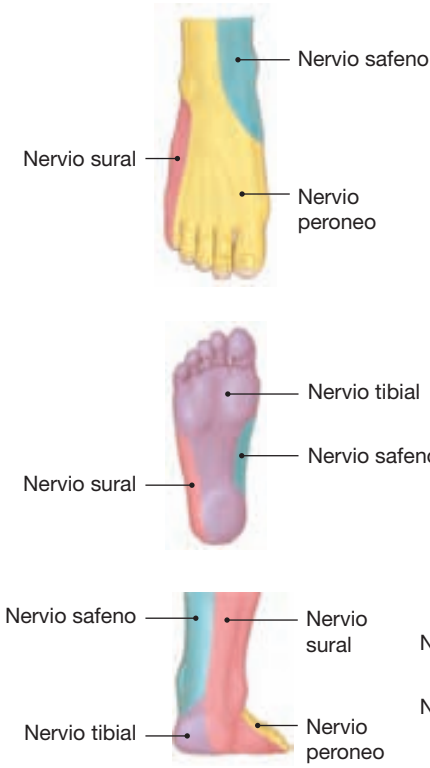
(a) Plexo lumbar, vista anterior

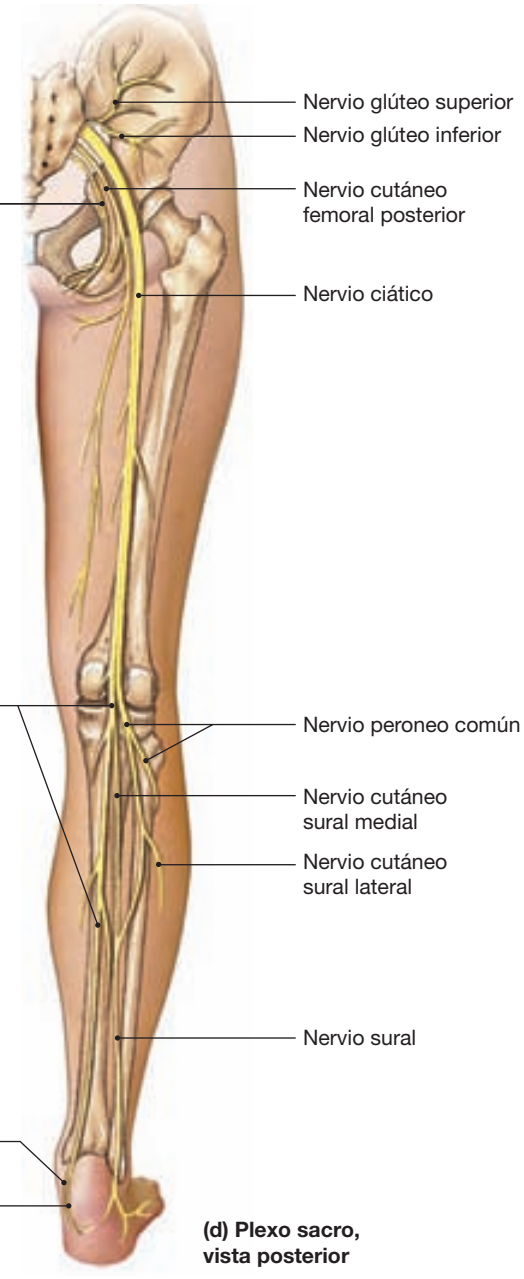


(b) Plexo sacro, vista anterior



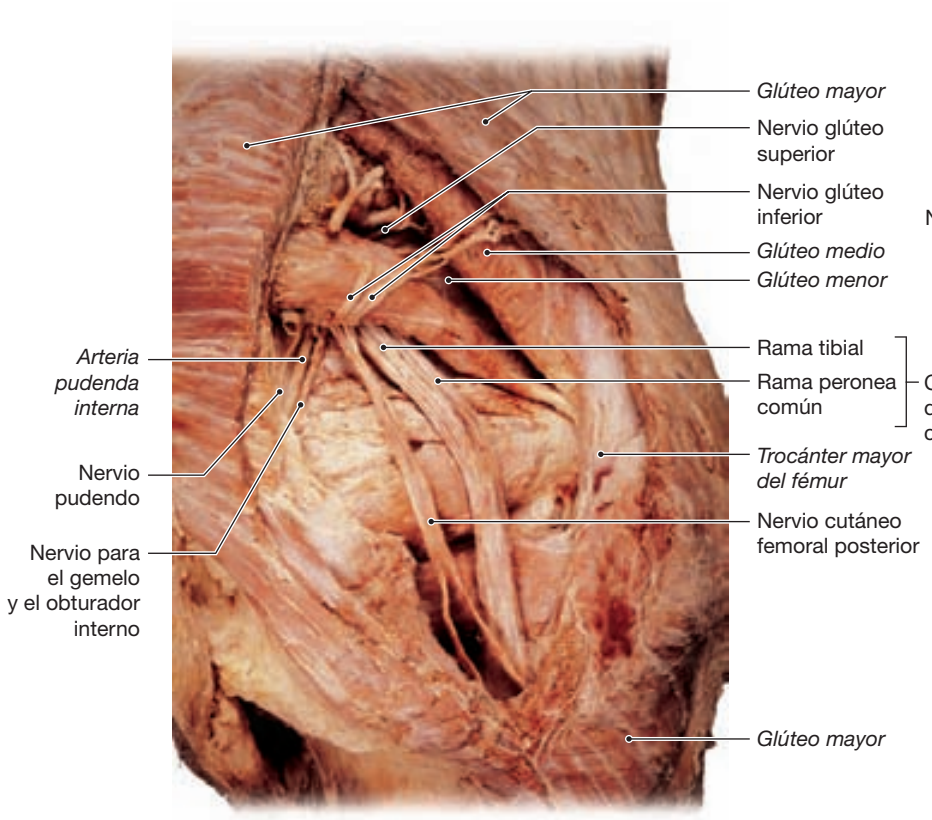
(c) Plexos lumbar y sacro, vista anterior



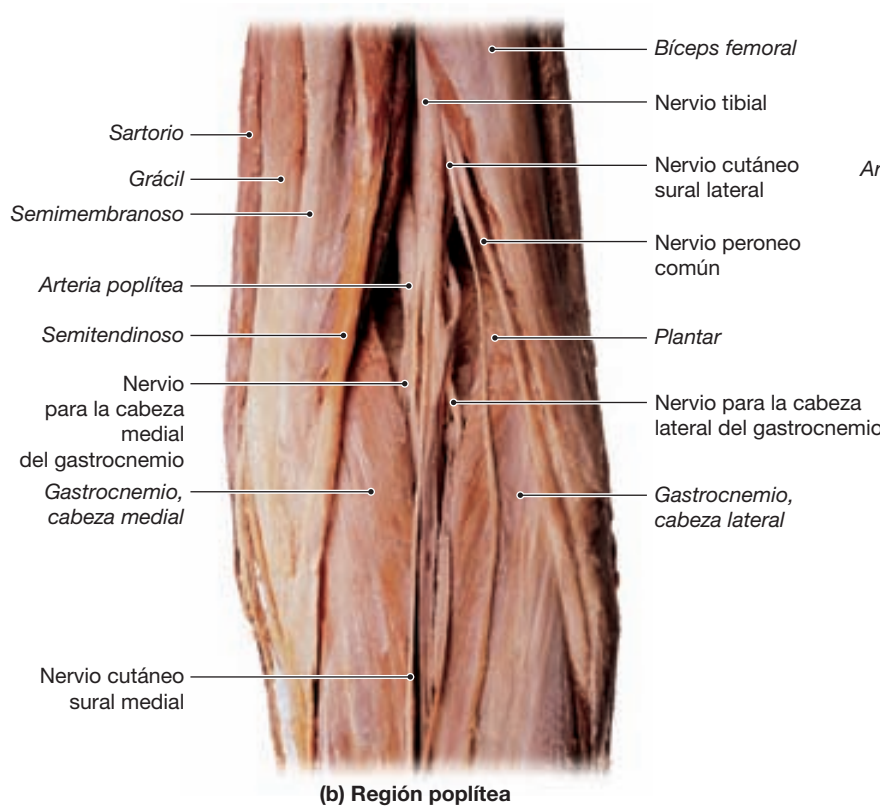


(d) Plexo sacro, vista posterior

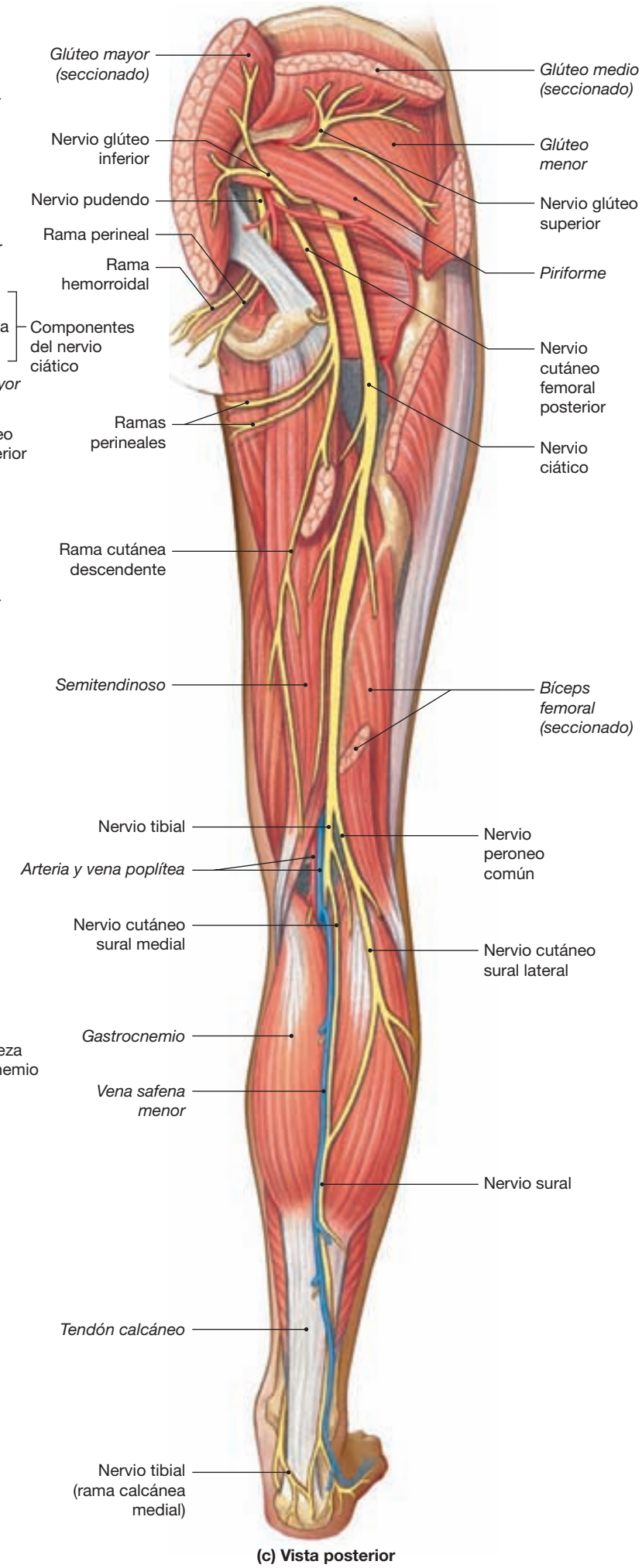
Figura 14.13 **Plexos lumbar y sacro, parte I**



(a) Región glútea posterior



(b) Región poplítea



(c) Vista posterior

Figura 14.14 Plexos lumbar y sacro, parte II

Vistas posteriores de los plexos lumbar y sacro y distribución de los nervios periféricos. Los nervios principales se observan en **(a)** una disección de la región glútea derecha y **(b)** una disección de la fosa poplítea. **(c)** Vista posterior esquemática de la cadera y el miembro inferior derechos, detallando la distribución de los nervios periféricos.

músculo o una célula glandular. La figura 14.15 ilustra los cinco pasos implicados en un reflejo nervioso:

PASO 1. ***Llegada de un estímulo y activación de un receptor.*** Existen muchos tipos de receptores sensitivos, y los principales grupos se presentaron en el capítulo 13 [p. 351]. Cada receptor tiene unos límites de sensibilidad característicos; algunos receptores, como los receptores del dolor, responden a casi cualquier estímulo. Estos receptores, las dendritas de las neuronas sensitivas, se estimulan por la presión, los extremos de temperatura, la lesión física o la exposición a sustancias químicas anormales. Otros receptores, como los que proporcionan la sensibilidad visual, auditiva o gustativa, son células especializadas que sólo responden a una variedad limitada de estímulos.

PASO 2. ***Transporte de la información al SNC.*** La información se transporta en forma de potenciales de acción a lo largo de una fibra aferente. En este caso,

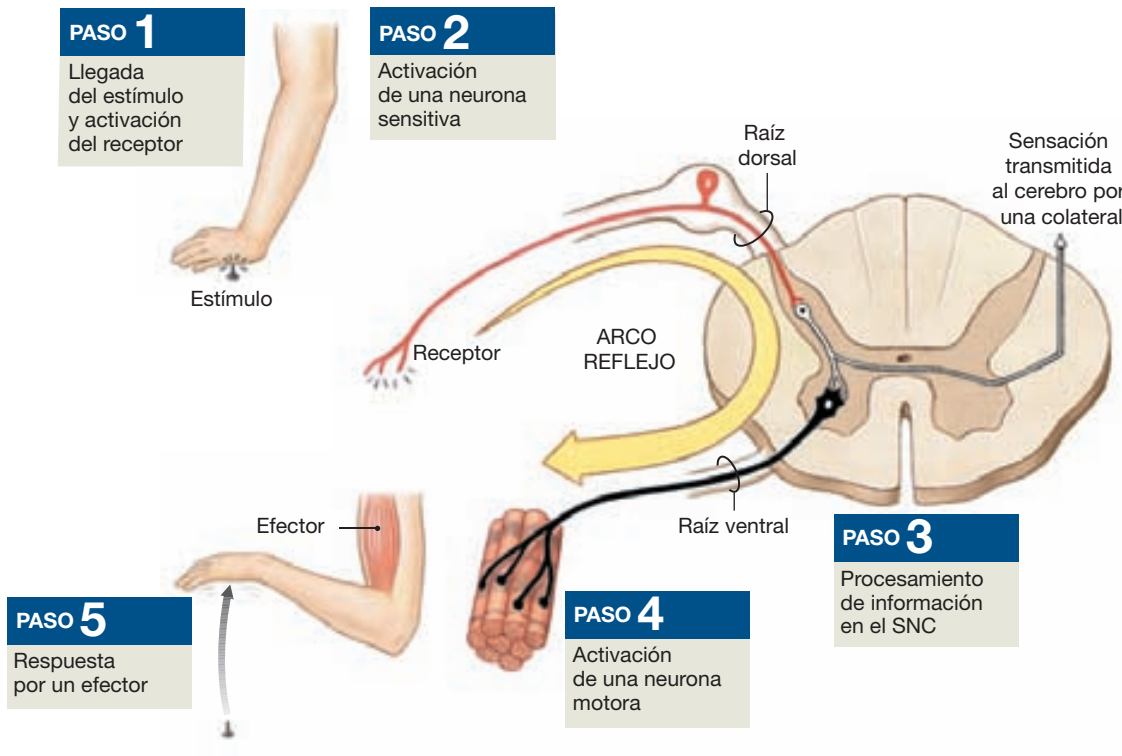


Figura 14.15 Arco reflejo
Este diagrama ilustra los cinco pasos implicados en un reflejo nervioso.

Nota clínica

Trastornos de la médula espinal y los nervios raquídeos La lesión de los tractos medulares produce una pérdida de la sensibilidad y/o del control motor. La naturaleza del déficit sensitivo y motor depende de la localización de la lesión y de los tractos específicos afectados.

La **esclerosis múltiple (EM)** es una enfermedad que produce parálisis muscular y pérdida de la sensibilidad por desmielinización. Los síntomas iniciales, que frecuentemente corresponden a combinaciones variables de parestesias (sensibilidad alterada), torpeza motora y problemas de visión y del control vesical, aparecen como resultado de la degeneración de la mielina en la sustancia blanca de las columnas laterales y posteriores de la médula espinal, en los nervios ópticos o a lo largo de los tractos del cerebro. Por ejemplo, la afectación de la médula espinal puede producir debilidad muscular, sensación de hormigueo y pérdida del «sentido de posición» de los miembros. En la mayoría de los pacientes se produce mejoría, pero durante los ataques posteriores los efectos pueden hacerse más extensos. La afectación sensitiva y motora acumulativa puede conducir finalmente a una parálisis muscular generalizada, y un 50% de los pacientes requieren ayuda para caminar a los 15 años de la aparición inicial de los síntomas.

La investigación actual sugiere que este trastorno está asociado a problemas en el sistema inmune, causados por una combinación de factores genéticos y ambientales, que dan lugar a la producción de anticuerpos que atacan las vainas de mielina. Los individuos con EM tienen linfocitos que no responden normalmente a las proteínas extrañas. Puesto que varias proteínas víricas tienen secuencias de aminoácidos similares a las de la mielina normal, se ha propuesto que la EM deriva de un caso de identidad errónea. Se ha sugerido que los individuos que desarrollan EM pueden tener una susceptibilidad hereditaria a un virus y que esta susceptibilidad está exagerada por condiciones ambientales. La incidencia anual media en EE. UU. es de alrededor de 50 casos por 100.000 personas en la población. Se ha observado una mejoría en algunos pacientes con EM tratados con fármacos que influyen sobre el sistema inmunitario, o «inmunomoduladores» como el beta-interferón (un péptido secretado por las células del sistema inmunitario) y el glatiramer (un polipéptido sintético similar a la proteína básica de la mielina). La inmunosupresión mediante tratamiento con corticoesteroides puede reducir la gravedad de las recaídas y la FDA ha aprobado un fármaco antineoplásico para los casos crónicos avanzados de EM.

El **traumatismo medular** deriva de una lesión física de la médula espinal como una colisión grave en automóvil, causando una parálisis permanente debido a que los tractos dañados raramente se someten a reparación. La lesión extensa de la médula espinal causa una pérdida de la función motora y sensitiva por debajo del nivel de la lesión. Una lesión por encima de la quinta vértebra cervical anula el control motor (parálisis) y la sensibilidad de los miembros superiores e inferiores, un trastorno denominado *cuadriplejía*. La *paraplejía*, la pérdida del control motor de los miembros inferiores, puede seguir a una lesión de la médula espinal torácica. Las lesiones menos graves que afectan a la médula espinal o a la cola de caballo producen síntomas de afectación sensitiva o parálisis motora que reflejan los núcleos, tractos o nervios raquídeos afectados.

el axón conduce los potenciales de acción hasta la médula espinal a través de una de las raíces dorsales (v. figura 14.17).

PASO 3. ***Procesamiento de la información.*** El procesamiento de la información comienza cuando un neurotransmisor liberado por las terminaciones sinápticas de la neurona sensitiva alcanza la membrana postsináptica de una neurona motora o una interneurona [p. 354]. En los reflejos más simples, como el que se esquematiza en la figura 14.15, este procesamiento es llevado a cabo por la neurona motora que controla los efectores periféricos. En los reflejos más complejos, hay varios grupos de interneuronas interpuestos entre las neuronas sensitivas y motoras y se produce un procesamiento en serie y en paralelo [pp. 355-356]. El objetivo de este procesamiento de la información es la selección de una respuesta motora apropiada mediante la activación de neuronas motoras específicas.

PASO 4. ***Activación de una neurona motora.*** Una neurona motora estimulada hasta un umbral conduce los potenciales de acción a lo largo de su axón hacia la periferia, en este ejemplo, a través de la raíz ventral de un nervio espinal.

PASO 5. ***Respuesta de un efector periférico.*** La activación de la neurona motora causa una respuesta mediante un efector periférico, como un músculo estriado o una glándula. En general, esta respuesta se dirige a eliminar o contrarrestar el estímulo original. Los reflejos tienen una importante función en la oposición a cambios potencialmente perjudiciales en el entorno interno o externo.

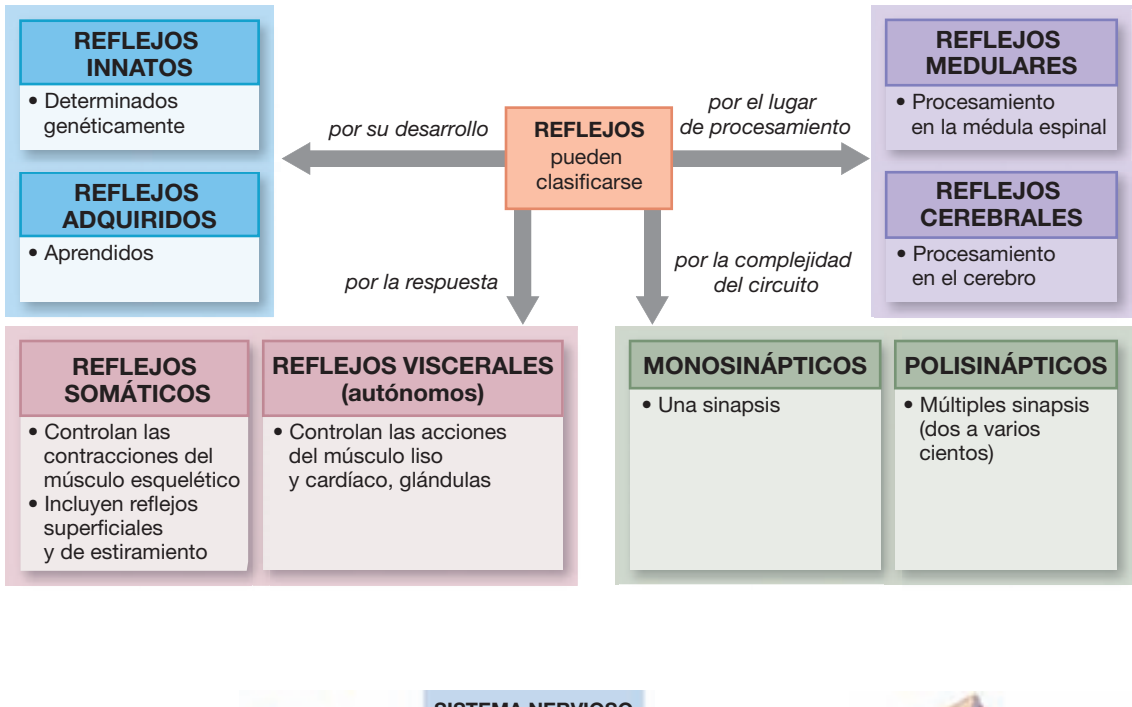


Figura 14.16 Clasificación de los reflejos
Para clasificar los reflejos se utilizan cuatro métodos diferentes.

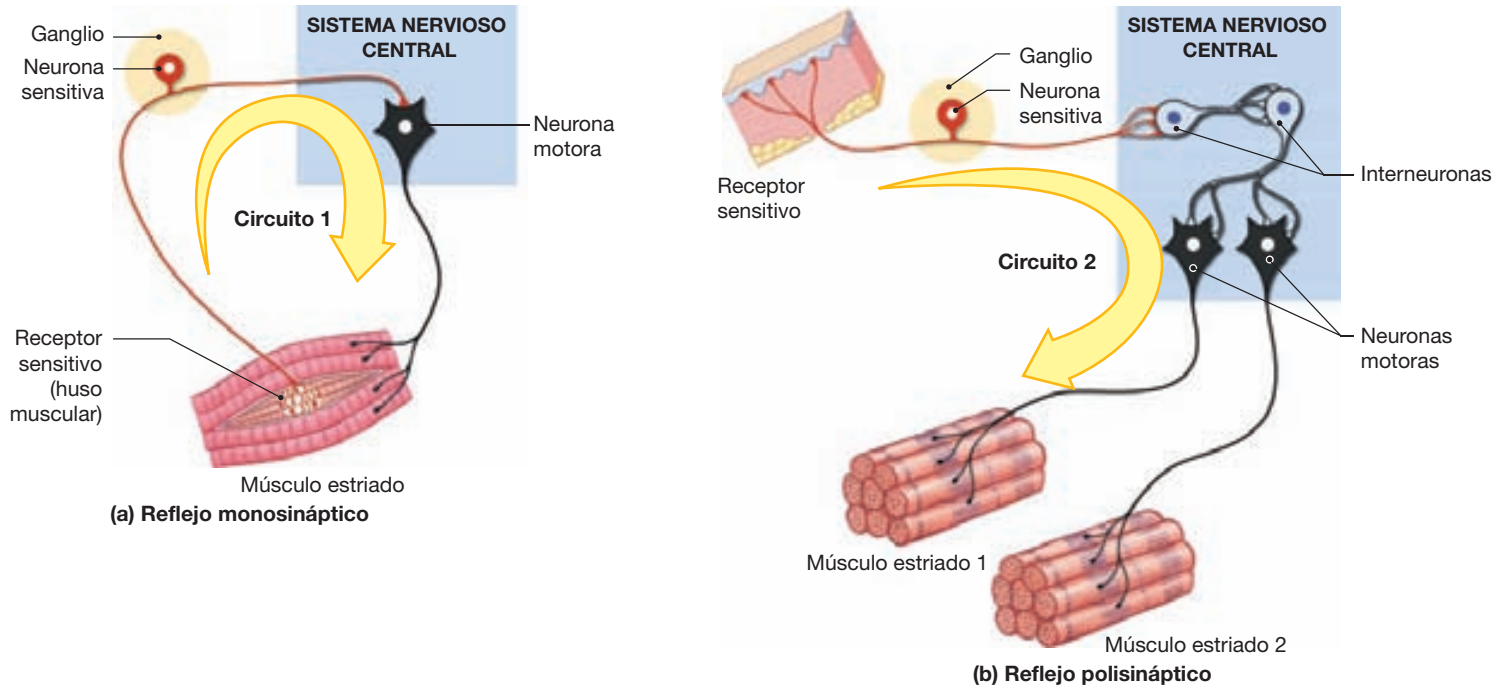
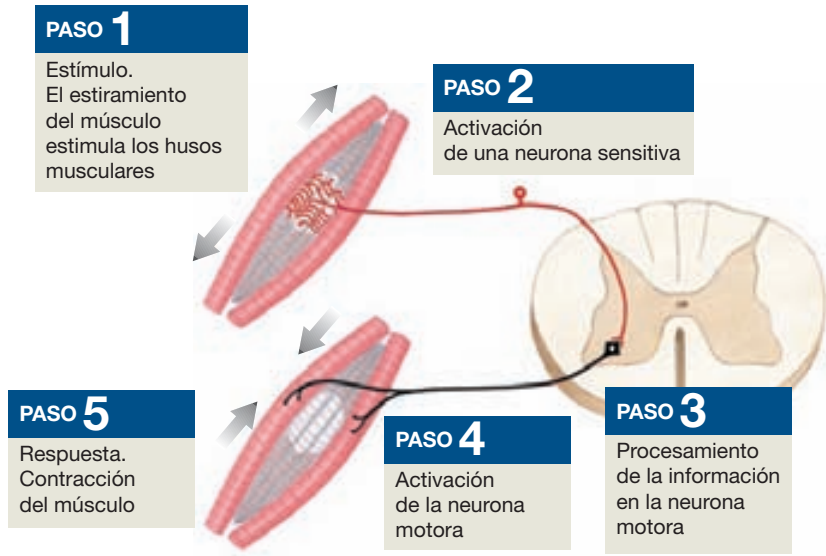
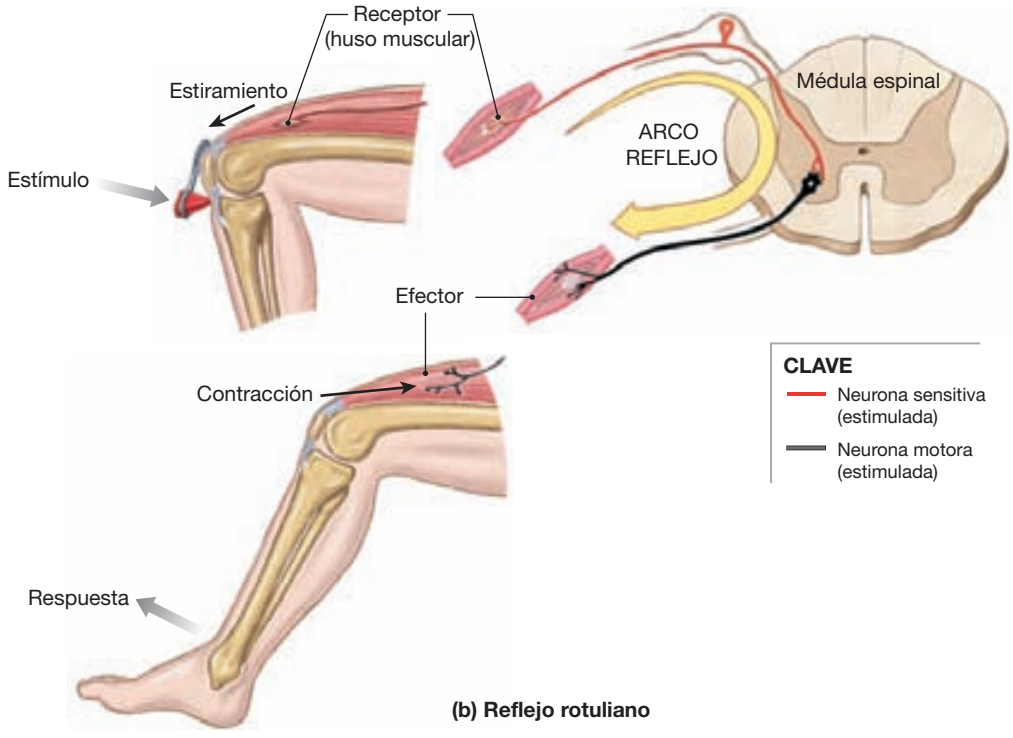


Figura 14.17 Organización neural y reflejos simples
Comparación de los reflejos monosinápticos y polisinápticos. **(a)** Un circuito reflejo monosináptico incluye una neurona sensitiva periférica y una neurona motora central. En este ejemplo, la estimulación del receptor conducirá a una contracción refleja en un músculo estriado. **(b)** Un circuito reflejo polisináptico incluye una neurona sensitiva, interneuronas y neuronas motoras. En este ejemplo, la estimulación del receptor conduce a las contracciones coordinadas de dos músculos estriados diferentes.



(a) Reflejo de estiramiento



(b) Reflejo rotuliano

Figura 14.18 Reflejos de estiramiento

(a) Pasos comunes a todos los reflejos de estiramiento. **(b)** El reflejo rotuliano está controlado por los husos musculares del grupo del cuádriceps. El estímulo es un martillo de reflejos que golpea el tendón muscular, estirando las fibras del huso. Esto produce un incremento súbito de la actividad de las neuronas sensitivas que sinaptan con las neuronas motoras medulares. La respuesta se produce por la activación de las unidades motoras del grupo del cuádriceps, lo que produce un incremento inmediato del tono muscular y una patada refleja.

Clasificación de los reflejos [v. figuras 14.16/14.17]

Los reflejos pueden clasificarse de acuerdo con: 1) su desarrollo **(reflejos innatos** y **adquiridos);** 2) el lugar donde ocurre el procesamiento de la información **(reflejos medulares** y **cerebrales);** 3) la naturaleza de la respuesta motora resultante **(reflejos somáticos** y **viscerales**, o **autónomos),** o 4) la complejidad del circuito nervioso implicado (*reflejos monosinápticos* y *polisinápticos*). Estos tipos, que se presentan en la figura 14.16, no son mutuamente excluyentes; representan diferentes formas de describir un único reflejo.

En el arco reflejo más sencillo, una neurona sensitiva sinapta directamente con una neurona motora. Este reflejo se denomina **reflejo monosináptico** (v. figura 14.17a). La transmisión a través de una sinapsis vesicular siempre implica una demora sináptica, pero si sólo hay una sinapsis el retraso entre el estímulo y la respuesta se minimiza.

Los **reflejos polisinápticos** (v. figura 14.17b) tienen una mayor demora entre el estímulo y la respuesta, siendo la duración del retraso proporcional al número de sinapsis implicadas. Los reflejos polisinápticos pueden producir respuestas mucho más complicadas porque las interneuronas pueden controlar varios grupos musculares diferentes. Muchas de las respuestas motoras son extremadamente complicadas; por ejemplo, pisar un objeto agudo no sólo produce la retirada del pie, sino que desencadena todos los ajustes musculares necesarios para evitar una caída. Estas complicadas respuestas resultan de las interacciones entre múltiples grupos de interneuronas.

Reflejos medulares [v. figuras 14.17/14.18]

Las neuronas de la sustancia gris de la médula espinal participan en varios arcos reflejos. Estos *reflejos medulares* varían en complejidad desde reflejos monosinápticos simples que implican un único segmento de la médula espinal hasta reflejos polisinápticos que integran eferencias motoras de muchos segmentos diferentes de la médula espinal para producir una respuesta motora coordinada.

El reflejo medular mejor conocido es el **reflejo de estiramiento.** Es un reflejo monosináptico simple que proporciona una regulación automática de la longitud del músculo estriado (v. figura 14.18a). El estímulo estira un músculo relajado activando así una neurona sensitiva y desencadenando la contracción de ese músculo. El reflejo de estiramiento también asegura el ajuste automático del tono muscular, incrementándolo o disminuyéndolo en respuesta a la información que proporcionan los receptores de estiramiento de los *husos musculares* (v. figura 14.17a). Los husos musculares, que se considerarán en el capítulo 18, consisten en fibras musculares especializadas cuya longitud está controlada por neuronas sensitivas.

El reflejo de estiramiento más conocido es probablemente la *sacudida de la rodilla* o **reflejo rotuliano.** En este reflejo, un golpe brusco sobre el ligamento rotuliano estira los husos musculares de los músculos cuádriceps (v. figura 14.18b). Con un estímulo tan breve la contracción refleja a que da lugar no tiene oposición y produce una patada perceptible. Los médicos a menudo exploran este reflejo para comprobar el estado de los segmentos inferiores de la médula espinal. Un reflejo rotuliano normal indica que los nervios raquídeos y los segmentos medulares L_1-L_4 están indemnes.

El reflejo de estiramiento es un ejemplo de **reflejo postural,** un reflejo que mantiene la postura erecta normal. Los músculos posturales generalmente tienen un tono muscular firme y receptores de estiramiento extremadamente sensibles. Como consecuencia, se están haciendo ajustes muy finos continuamente y no eres consciente de los ciclos de contracción y relajación que se producen.

Centros superiores e integración de los reflejos

Las actividades motoras reflejas se producen de forma automática, sin instrucciones de los centros superiores del cerebro. Sin embargo, los centros superiores pueden tener un profundo efecto sobre la ejecución de los reflejos. Por ejemplo, los centros de procesamiento del cerebro pueden reforzar o suprimir los reflejos medulares a través de los tractos descendentes que sinaptan con las interneuronas y las neuronas motoras a lo largo de toda la médula espinal. Por ello el

control motor implica una serie de niveles de interacción. En el nivel más inferior se encuentran los reflejos monosinápticos que son rápidos pero estereotipados y relativamente poco flexibles. En el nivel más elevado están los centros del cerebro que pueden modular o crear patrones motores reflejos.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo de la médula espinal y los nervios raquídeos, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué es un reflejo?
2. Enumere en orden los cinco pasos de un arco reflejo.
3. Distinga entre un reflejo monosináptico y polisináptico.
4. ¿Cuáles son los cuatro métodos de clasificación de los reflejos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

TÉRMINOS CLÍNICOS

anestesia caudal: Inyección de anestésicos en el espacio epidural del sacro para paralizar y reducir la sensibilidad de las estructuras abdominales bajas y perineales.

arreflexia: Ausencia de respuestas reflejas normales a los estímulos.

bloqueo epidural: Anestesia regional producida por la inyección de un anestésico en el espacio epidural cerca de las raíces de los nervios raquídeos objetivo.

cuadriplejía: Parálisis que implica una pérdida de la sensibilidad y el control motor de los miembros superiores e inferiores.

esclerosis múltiple (EM): Enfermedad del sistema nervioso caracterizada por episodios recurrentes, a menudo progresivos, de desmielinización que afecta a los tractos del cerebro y/o la médula espinal. Los síntomas frecuentes incluyen pérdida parcial de visión y problemas del lenguaje, el equilibrio y la coordinación motora general.

estimulación eléctrica funcional (EEF): Técnica para estimular músculos y grupos musculares específicos utilizando electrodos controlados por un ordenador.

hiperreflexia: Respuestas reflejas exageradas que pueden desarrollarse en algunos estados patológicos o tras la estimulación de los núcleos medulares y cerebrales por los centros superiores.

hiporreflexia: Estado en el cual los reflejos medulares normales están presentes pero son débiles.

injerto nervioso: Inserción de una sección intacta de un nervio periférico diferente para puentear el espacio entre los extremos seccionados de un nervio lesionado y proporcionar una vía para la regeneración axonal.

meningitis: Inflamación de las membranas meníngeas.

mielografía: Procedimiento diagnóstico en el cual se introduce un contraste radioopaco en el líquido cefalorraquídeo para obtener una radiografía de la médula espinal.

paraplejía: Parálisis que implica una pérdida del control motor de los miembros inferiores.

punción espinal: Procedimiento en el cual se extrae líquido del espacio subaracnoideo a través de una aguja que se inserta entre las vértebras.

punción lumbar: Punción espinal realizada entre dos vértebras lumbares adyacentes.

reflejo rotuliano: Reflejo de «sacudida de la rodilla»; a menudo se utiliza para aportar información acerca de los segmentos medulares relacionados.

shock medular: Período de parálisis sensitiva y motora que sigue a cualquier lesión grave de la médula espinal.

signo de Babinski (reflejo de Babinski positivo): Reflejo medular en lactantes consistente en la apertura en abanico de los dedos de los pies, producida al golpear el pie en un lado de la planta; en adultos, signo de lesión del SNC.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 362

1. El **sistema nervioso central (SNC)** consta de la *médula espinal* y el *cerebro*. Aunque están conectados, tienen cierta independencia funcional. La médula espinal integra y procesa la información por sí misma, además de transmitir la información al cerebro y desde el cerebro.

Anatomía macroscópica de la médula espinal 362

1. La médula espinal del adulto tiene un **surco medio posterior** (superficial) y un surco medio **anterior** (ancha). Incluye unas **intumescencias** localizadas (*cervical* y *lumbar*) que son regiones expandidas donde existe un aumento de la sustancia gris para proporcionar inervación a los miembros *(v. figuras 14.1 a 14.3)*.
2. La médula espinal del adulto se extiende desde el agujero magno hasta L_1. La médula espinal se estrecha hasta un extremo de forma cónica, el **cono medular.** El **filum terminal** (unos filamentos de tejido fibroso) se origina en este extremo y se extiende a través del canal vertebral hasta la segunda vértebra sacra, llegando a formar parte finalmente del *ligamento coccígeo (v. figuras 14.1 a 14.4)*.
3. La médula espinal tiene 31 segmentos, cada uno de los cuales se asocia a un par de **ganglios de la raíz dorsal** (que contienen los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas) y a los pares de **raíces dorsales** y **raíces ventrales.** El primer nervio cervical y el primero coccígeo representan excepciones en las que las raíces dorsales están ausentes en muchos individuos *(v. figuras 14.1 a 14.3)*.
4. Las fibras sensitivas y motoras se unen formando un único **nervio espinal** distalmente a cada ganglio de la raíz dorsal. Los nervios raquídeos salen por los **agujeros intervertebrales** y son **nervios mixtos** ya que contienen tanto fibras sensitivas como motoras *(v. figuras 14.1 a 14.3)*.
5. La **cola de caballo** es la extensión inferior de las raíces ventrales y dorsales y del filum terminal en el canal vertebral *(v. figuras 14.1/14.4)*.

Meninges espinales 362

1. Las **meninges espinales** son una serie de membranas especializadas que proporcionan estabilidad física y absorción de los impactos a los tejidos nerviosos de la médula espinal; las **meninges craneales** son las membranas que rodean el cerebro (v. capítulo 15). Existen tres capas meníngeas: la *duramadre*, la *aracnoides* y la *piamadre (v. figura 14.2)*.

Duramadre 362

2. La **duramadre** espinal es la capa dura y fibrosa más externa que cubre la médula espinal; caudalmente forma el **ligamento coccígeo** con el filum terminal. El **espacio epidural** separa la duramadre de las paredes internas del canal vertebral *(v. figuras 14.1b,c/14.2/14.4a)*.

Aracnoides 362

3. El **espacio subdural** se encuentra internamente a la superficie interna de la duramadre. Cuando está presente, separa la duramadre de la capa meníngea media, la **aracnoides.** Internamente a la aracnoides está el **espacio subaracnoideo** que tiene una red de fibras de colágeno y elásticas, las *trabéculas aracnoideas*. Este espacio también contiene **líquido cefalorraquídeo,** que actúa como absorbente de los impactos y como medio de difusión para los gases, nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho disueltos *(v. figuras 14.2/14.4)*.

Piamadre 365

4. La **piamadre** es la capa meníngea más interna. Está firmemente unida al tejido nervioso subyacente. Los **ligamentos dentados** pares son fibras de soporte que se extienden lateralmente desde la superficie de la médula espinal, uniendo la piamadre y la aracnoides espinal a la duramadre para prevenir el movimiento lateral o inferior de la médula espinal *(v. figura 14.2)*.

Anatomía seccional de la médula espinal 367

1. La **sustancia gris** central rodea el **conducto central** y contiene los cuerpos celulares de las neuronas y las células gliales. Las proyecciones de la sustancia gris hacia la superficie externa de la médula espinal se denominan **astas**. La **sustancia blanca** periférica contiene los axones mielinizados y no mielinizados en *tractos* y *columnas (v. figura 14.5)*.

Organización de la sustancia gris 367

2. Los cuerpos celulares neuronales de la sustancia gris de la médula espinal se organizan en grupos denominados *núcleos*. Las **astas grises posteriores** contienen los núcleos sensitivos somáticos y viscerales, mientras que los núcleos de las **astas grises anteriores** están implicados en el control motor somático. Las **astas grises laterales** contienen las neuronas motoras viscerales. Las **comisuras grises** se encuentran posteriores y anteriores al conducto central. Contienen los axones de las interneuronas que cruzan desde un lado de la médula hasta el otro *(v. figura 14.5)*.

Organización de la sustancia blanca 367

3. La sustancia blanca puede dividirse en seis **columnas** (*cordones*), cada una de las cuales contiene **tractos** (*fascículos*). Los **tractos ascendentes** conducen la información desde la médula espinal hasta el cerebro, y los **tractos descendentes** llevan la información desde el cerebro hasta la médula espinal *(v. figura 14.5)*.

Nervios raquídeos 369

1. Existen 31 pares de nervios raquídeos; cada uno se identifica por su asociación con una vértebra adyacente (*cervical, torácica, lumbar* y *sacra*) *(v. figuras 14.1/14.3)*.
2. Cada nervio espinal está envuelto por una serie de capas de tejido conjuntivo. La capa más externa, el **epineuro,** es una densa red de fibras de colágeno; la capa media, el **perineuro**, tabica el nervio en una serie de haces *(fascículos)* y forma la *barrera hematoneural*; y la capa interna, el **endoneuro,** está compuesta por finas fibras de tejido conjuntivo que rodean los axones individuales *(v. figura 14.6)*.

Distribución periférica de los nervios raquídeos 369

3. La primera rama de cada nervio espinal de la región torácica y lumbar alta es la **rama blanca,** que contiene axones mielinizados que van al **ganglio autónomo.** De este ganglio salen dos grupos de fibras no mielinizadas: una **rama gris,** que lleva axones que inervan las glándulas y el músculo liso de las paredes corporales o los miembros, vuelve al nervio espinal, y un nervio autónomo que lleva fibras a los órganos internos. En conjunto, las ramas blancas y grises se denominan **ramas comunicantes** *(v. figuras 14.2/14.7)*.
4. Cada nervio espinal tiene tanto una **rama dorsal** (que proporciona inervación sensitiva/motora a la piel y los músculos de la espalda) como una **rama ventral** (inerva la superficie ventrolateral del cuerpo, las estructuras de las paredes corporales y los miembros). Cada par de nervios raquídeos controla una región de la superficie corporal, área que se denomina **dermatoma** *(v. figuras 14.2/14.7/14.8)*.

Plexos nerviosos 370

5. Una red compleja, entremezclada, de nervios se denomina **plexo nervioso**. Los cuatro plexos principales son el *plexo cervical*, el *plexo braquial*, el *plexo lumbar* y el *plexo sacro (v. figuras 14.3/14.9 a 14.14 y tablas 14.1 a 14.3)*.
6. El **plexo cervical** consta de las ramas ventrales de C_1-C_4 y algunas fibras de C_5. Inerva los músculos del cuello; algunas ramas se extienden hacia la cavidad torácica para el diafragma. El **nervio frénico** es el nervio principal de este plexo *(v, figuras 14.3/14.9/14.10/14.12 y tabla 14.1)*.
7. El **plexo braquial** inerva la cintura pectoral y los miembros superiores a través de las ramas ventrales de C_5-T_1. Los nervios de este plexo se originan en los cordones o troncos: los **troncos superior**, **medio** e **inferior** dan lugar al **cordón lateral**, el **cordón medial** y el **cordón posterior** *(v. figuras 14.3/14.9/14.11/14.12 y tabla 14.2)*.
8. En conjunto, el **plexo lumbar** y el **plexo sacro** se originan en la pared abdominal posterior y las ramas ventrales de los nervios inervan la cintura pélvica y el miembro inferior. El plexo lumbar contiene fibras de los segmentos medulares T_{12}-L_4 y el plexo sacro contiene fibras de los segmentos L_4-S_4 *(v. figuras 14.3/14.9/14.13/14.14 y tabla 14.3)*.

Reflejos 376

1. Un **reflejo** nervioso es una respuesta motora involuntaria, rápida y automática a los estímulos. Los reflejos ayudan a preservar la homeostasis ajustando rápidamente las funciones de los órganos o sistemas orgánicos *(v. figura 14.15)*.
2. Un **arco reflejo** es la «conexión» nerviosa de un reflejo simple *(v. figura 14.15)*.
3. Un *receptor* es una célula especializada que controla las condiciones del organismo o del ambiente externo. Cada receptor tiene unos límites característicos de sensibilidad.
4. Existen cinco pasos implicados en un reflejo nervioso: 1) llegada de un estímulo y activación de un receptor; 2) transmisión de la información al SNC; 3) procesamiento de la información; 4) activación de una neurona motora, y 5) respuesta mediante un efector periférico *(v. figura 14.15)*.

Clasificación de los reflejos 382

5. Los reflejos se clasifican según: 1) su desarrollo *(innatos, adquiridos);* 2) donde se procesa la información *(medulares, cerebrales);* 3) la respuesta motora *(somáticos, viscerales [autónomos])*, y 4) la complejidad del circuito nervioso *(monosinápticos, polisinápticos) (v. figura 14.16)*.
6. Los **reflejos innatos** están determinados genéticamente. Los **reflejos adquiridos** se aprenden tras la exposición repetida a un estímulo *(v. figura 14.16)*.
7. Los reflejos que se procesan en el cerebro son **reflejos cerebrales.** En un **reflejo medular,** el procesamiento y las interconexiones importantes tienen lugar en el interior de la médula espinal *(v. figura 14.16)*.
8. Los **reflejos somáticos** controlan las contracciones del músculo estriado, y los **reflejos viscerales** *(autónomos)* controlan las actividades del músculo liso y cardíaco y de las glándulas *(v. figura 14.16)*.
9. Un **reflejo monosináptico** es el arco reflejo más sencillo. Una neurona sensitiva sinapta directamente con una neurona motora que actúa como centro de procesamiento. Los **reflejos polisinápticos** tienen al menos una interneurona situada entre el aferente sensitivo y el eferente motor. Por tanto, presentan un mayor retraso entre el estímulo y la respuesta *(v. figuras 14.16/14.17)*.

Reflejos medulares 382

10. Los **reflejos medulares** varían desde reflejos monosinápticos simples (que implican sólo un segmento de la médula) hasta reflejos polisinápticos más complejos (en los que interactúan muchos segmentos de la médula para producir una respuesta motora coordinada) *(v. figura 14.17)*.
11. El **reflejo de estiramiento** es un reflejo monosináptico que regula de forma automática la longitud del músculo estriado y el tono muscular. Los receptores sensitivos implicados son los receptores de estiramiento de los *husos musculares (v. figura 14.18a)*.
12. El **reflejo rotuliano** es la conocida *sacudida de la rodilla*, en la que un golpe sobre el ligamento rotuliano estira los **husos musculares** de los músculos cuádriceps *(v. figura 14.18b)*.
13. Un **reflejo postural** es un reflejo de estiramiento que mantiene la postura erecta normal.

Centros superiores e integración de los reflejos 382

14. Los centros superiores del cerebro pueden reforzar o inhibir los patrones motores reflejos con base en la médula espinal.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. raíz ventral	a. tractos y columnas
___ 2. espacio epidural	b. región específica de la superficie corporal
___ 3. sustancia blanca	c. plexo cervical
___ 4. fascículo	d. axones de las neuronas motoras
___ 5. dermatoma	e. plexo sacro
___ 6. nervio frénico	f. plexo lumbar
___ 7. plexo braquial	g. haz único de axones
___ 8. nervio obturador	h. respuesta motora involuntaria
___ 9. reflejo	i. tejido conjuntivo laxo, tejido adiposo
___10. nervio pudendo	j. cintura pectoral/extremidad superior

11. El/La _____ son unos filamentos de tejido fibroso que proporcionan soporte longitudinal como componente del ligamento coccígeo.
    (a) cono medular (b) filum terminal
    (c) cola de caballo (d) raíz dorsal

12. Los axones que cruzan de un lado a otro de la médula espinal en la sustancia gris se encuentran en:
    (a) las astas grises anteriores (b) las comisuras blancas
    (c) las comisuras grises (d) las astas grises laterales

13. Las estructuras pares que contienen los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas y se asocian a cada segmento de la médula espinal son las:
    (a) ramas dorsales (b) ramas ventrales
    (c) ganglios de la raíz dorsal (d) ganglios de la raíz ventral

14. El surco profundo en la superficie ventral de la médula espinal se denomina:
    (a) surco medio posterior (b) fisura media posterior
    (c) surco medio anterior (d) fisura media anterior

15. La inervación sensitiva y motora de la piel de la superficie lateral y ventral del cuerpo depende de:
    (a) las ramas comunicantes blancas (b) las ramas comunicantes grises
    (c) la rama dorsal (d) la rama ventral

16. El plexo braquial:
    (a) inerva la cintura escapular y la extremidad superior
    (b) está formado por las ramas ventrales de los nervios raquídeos C_5-T_1
    (c) es el origen de los nervios musculocutáneo, radial, mediano y cubital
    (d) todas las anteriores

17. La capa media de tejido conjuntivo que rodea cada nervio periférico es el:
    (a) epineuro (b) perineuro
    (c) endoneuro (d) endomisio

18. El área expandida de la médula espinal que provee la inervación para los nervios de la cintura pectoral y los miembros superiores es:
    (a) el cono medular (b) el filum terminal
    (c) la intumescencia lumbosacra (d) la intumescencia cervical

19. Los nervios raquídeos se denominan nervios mixtos porque:
    (a) contienen fibras sensitivas y motoras
    (b) salen por los agujeros intervertebrales
    (c) están asociados a un par de ganglios de la raíz dorsal
    (d) están asociados a las raíces dorsales y ventrales

20. La sustancia gris de la médula espinal tiene un predominio de:
    (a) axones mielinizados sólo
    (b) cuerpos celulares de las neuronas y células gliales
    (c) axones no mielinizados sólo
    (d) células de Schwann y células satélite

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Qué nervio es probable que transmita el dolor cuando una persona recibe una inyección intramuscular en la región del deltoides del brazo?
    (a) nervio cubital
    (b) nervio radial
    (c) nervio intercostobraquial
    (d) nervio cutáneo lateral superior del brazo

2. ¿Cuál de las siguientes acciones estaría comprometida si una persona sufriera una lesión de los segmentos medulares lumbares L_3 y L_4?
    (a) un *plié* de ballet (doblar la rodilla ligeramente)
    (b) sentarse con la pierna cruzada (la cara lateral del pie sobre la cara medial del muslo opuesto) en la posición de loto
    (c) montar a caballo
    (d) todas las anteriores

3. El hormigueo y entumecimiento en la región palmar de la mano podrían estar causados por:
    (a) compresión del nervio mediano en el túnel carpiano
    (b) compresión del nervio cubital
    (c) compresión de la arteria radial
    (d) irritación de las estructuras que forman el arco arterial superficial

4. ¿Cuál es la función de las meninges en la protección de la médula espinal?

5. ¿En qué difiere un reflejo de un movimiento muscular voluntario?

6. Si se lesionara la raíz dorsal de la médula espinal, ¿qué se afectaría?

7. ¿Por qué la respuesta temporal es mucho más rápida en un reflejo monosináptico que la respuesta temporal en un reflejo polisináptico?

8. ¿Por qué existen ocho nervios raquídeos cervicales pero sólo siete vértebras cervicales?

9. ¿Qué evita los movimientos laterolaterales de la médula espinal?

10. ¿Por qué es importante que una punción espinal se realice entre la tercera y la cuarta vértebras lumbares?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. La incisión que permite el acceso a la cavidad abdominal implica seccionar la vaina del músculo recto del abdomen. Este músculo siempre se retrae lateralmente, nunca medialmente. ¿Por qué?

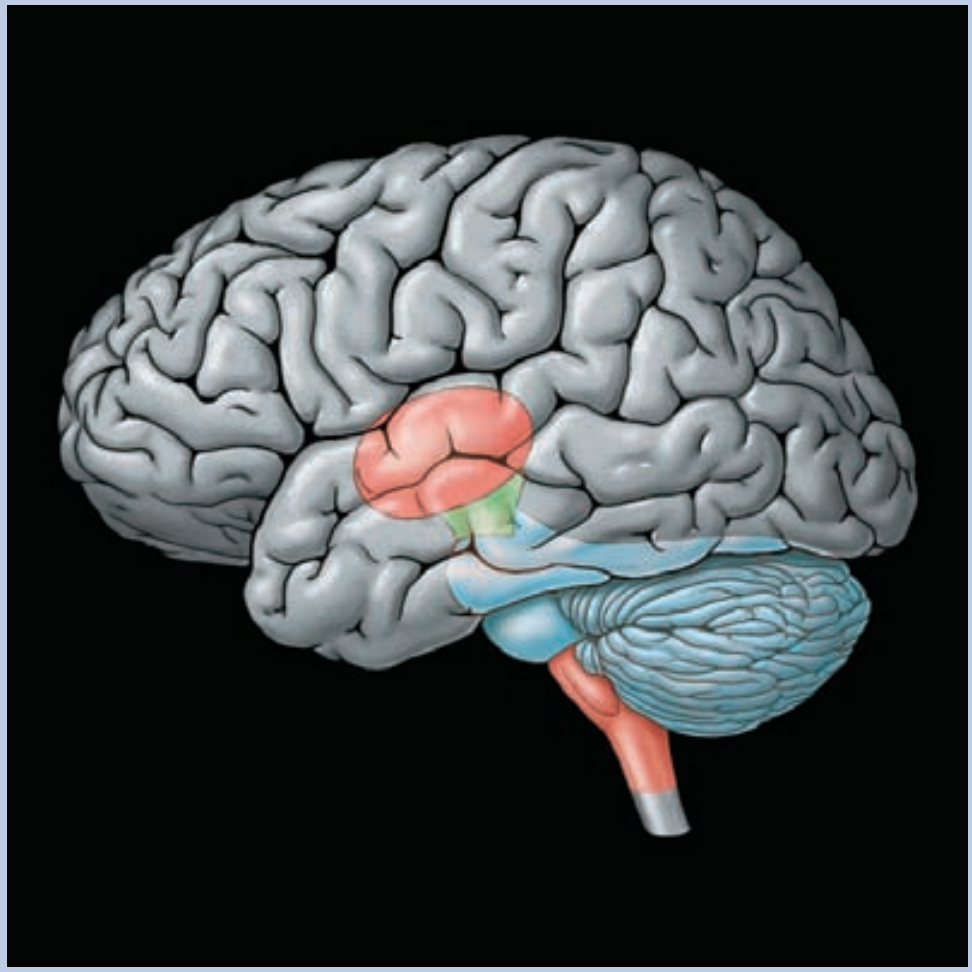
2. Cindy tiene un accidente de automóvil y se lesiona la médula espinal. Ha perdido la sensibilidad en la mano derecha y su médico le dice que es consecuencia de la tumefacción que comprime una porción de su médula espinal. ¿Qué parte de su médula es probable que esté comprimida?

3. Karen se cae por un tramo de escaleras y sufre una lesión medular por hiperextensión de la misma durante la caída. La lesión causa edema de la médula espinal con la consiguiente compresión de las células del asta anterior de la región vertebral. ¿Qué síntomas esperaría observar como consecuencia de esta lesión?

15

Sistema nervioso

Encéfalo y nervios craneales



Introducción 387

Introducción a la organización del encéfalo 387

Protección y soporte del encéfalo 389

Cerebro 396

Diencéfalo 405

Mesencéfalo 410

Protuberancia 410

Cerebelo 412

Bulbo raquídeo 414

Nervios craneales 416

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Nombrar las principales regiones del encéfalo y describir sus funciones.
2. Identificar y describir los ventrículos del encéfalo.
3. Identificar y describir las estructuras que protegen y sostienen el encéfalo.
4. Describir las estructuras que constituyen la barrera hematoencefálica e indicar sus funciones.
5. Describir las características estructurales y funcionales del plexo coroideo y la función que tiene en el origen, función y circulación del líquido cefalorraquídeo.
6. Identificar las estructuras anatómicas del cerebro y enumerar sus funciones.
7. Identificar tres tipos diferentes de sustancia blanca del cerebro y enumerar sus funciones.
8. Distinguir entre las áreas motoras, sensitivas y de asociación de la corteza cerebral.
9. Identificar las estructuras anatómicas que constituyen el sistema límbico y describir sus funciones.
10. Identificar las estructuras anatómicas que forman el tálamo y el hipotálamo y enumerar sus funciones.
11. Identificar las principales características del mesencéfalo y describir sus funciones.
12. Identificar los componentes del cerebelo y describir sus funciones.
13. Identificar las estructuras anatómicas del bulbo raquídeo y describir sus funciones.
14. Identificar y describir los 12 nervios craneales.

El encéfalo es probablemente el órgano más fascinante del cuerpo. Tiene una estructura tridimensional compleja y realiza una variedad desconcertante de funciones. Con frecuencia el cerebro se equipara a un ordenador, comparando sus núcleos y neuronas individuales con «chips» y «conmutadores» de silicio. Al igual que el encéfalo, un ordenador recibe enormes cantidades de información aferente, la archiva y procesa y dirige las respuestas eferentes apropiadas. Sin embargo, cualquier comparación directa entre el encéfalo y un ordenador es errónea, porque incluso el ordenador más sofisticado carece de la versatilidad y adaptabilidad de una única neurona. Una neurona puede procesar información de hasta 200.000 fuentes al mismo tiempo, y en el sistema nervioso existen decenas de miles de millones de neuronas.

En lugar de continuar enumerando las actividades que puede llevar a cabo el encéfalo, es más adecuado darse cuenta de que este órgano increíblemente complejo es el origen de todos nuestros sueños, pasiones, planes, recuerdos y conductas. Todo lo que hacemos y todo lo que somos es resultado de su actividad.

El encéfalo es mucho más complejo que la médula espinal, y puede responder a estímulos con mayor versatilidad. Esa versatilidad deriva del tremendo número de neuronas y grupos neuronales del cerebro y de la complejidad de sus interconexiones. El encéfalo contiene aproximadamente 20.000 millones de neuronas, cada una de las cuales puede recibir información a través de miles de sinapsis en un momento. Las interacciones excitatorias e inhibitorias entre los grupos neuronales extensamente interconectados aseguran que la respuesta pueda variar para enfrentarse a las circunstancias cambiantes. Pero la adaptabilidad tiene un precio: una respuesta no puede ser inmediata, precisa y adaptada al mismo tiempo. La adaptabilidad requiere múltiples pasos de procesamiento y cada sinapsis añade una demora entre el estímulo y la respuesta. Una de las principales funciones de los reflejos medulares es proporcionar una respuesta *inmediata* que pueda ser ajustada o elaborada por los centros de procesamiento más versátiles pero más lentos del encéfalo.

Ahora comenzamos un examen detallado del encéfalo. Este capítulo centra la atención en las principales estructuras del encéfalo y sus relaciones con los nervios craneales.

Introducción a la organización del encéfalo [v. figura 15.1]

El encéfalo humano del adulto (**v. figura 15.1**) contiene casi un 95% del tejido nervioso del organismo. Un encéfalo adulto medio pesa 1,4 kg y tiene un volumen de 1.350 cc. Existe una considerable variación individual, y el encéfalo de los varones es por término medio un 10% mayor que el de las mujeres debido a las diferencias en el tamaño corporal medio. Su aspecto externo relativamente poco impresionante da pocas claves acerca de su complejidad e importancia real. Un cerebro adulto puede sujetarse fácilmente entre las manos. Un encéfalo recién extraído es externamente grisáceo y sus tejidos internos son de color canela a rosado. Globalmente, el encéfalo tiene una consistencia de cuajada medianamente firme o gelatina helada.

Inicialmente durante el desarrollo, el encéfalo recuerda a la médula espinal, porque está hueco y tiene un conducto estrecho central lleno de líquido cefalorraquídeo. A medida que continúa el desarrollo, este conducto simple se subdivide y se expande en varias regiones para formar cámaras aumentadas de tamaño denominadas *ventrículos*. Consideraremos la anatomía de estos ventrículos en un apartado posterior.

Embriología del encéfalo [v. tabla 15.1]

El desarrollo del encéfalo se detalla en el capítulo 28. Sin embargo, una breve revisión le ayudará a entender la estructura y organización del encéfalo adulto. El sistema nervioso central comienza como un *tubo neural* hueco con una cavidad interna llena de líquido denominada *neurocele*. En la cuarta semana del desarrollo, crecen rápidamente tres áreas en la porción cefálica del tubo neural mediante una expansión del neurocele. Este aumento de tamaño crea tres **vesículas encefálicas primarias** prominentes que se denominan según sus posiciones relativas: el **prosencéfalo** (*proso*, adelante + *enkephalos*, cerebro), o «cerebro anterior»; el **mesencéfalo** (*mesos*, medio), o «cerebro medio», y el **romboencéfalo,** o «cerebro posterior».

El destino de las tres divisiones primarias del encéfalo se resume en la tabla 15.1. El prosencéfalo y el romboencéfalo se subdividen posteriormente formando las **vesículas encefálicas secundarias.** El prosencéfalo forma el **telencéfalo** (*telos*, final) y el **diencéfalo.** El telencéfalo forma el *cerebro (cerebrum),* los dos hemisferios cerebrales que predominan en las superficies superior y lateral del encéfalo del adulto. El diencéfalo hueco tiene un techo (el *epitálamo*), paredes (el *tálamo* izquierdo y derecho) y un suelo (el *hipotálamo*). En el momento en que se cierra el extremo posterior del tubo neural, unas protuberancias secundarias, las *vesículas ópticas*, se han extendido lateralmente desde ambos lados del diencéfalo. Adicionalmente, el cerebro en desarrollo se curva formando pliegues que marcan los límites entre los ventrículos.

El mesencéfalo no se subdivide, pero sus paredes se engruesan y el neurocele se convierte en un conducto relativamente estrecho con un diámetro comparable al del conducto central de la médula espinal. La porción del romboencéfalo más próxima al mesencéfalo forma el **metencéfalo** (*meta,* después). La porción ventral del metencéfalo se desarrolla hasta formar la *protuberancia (puente),* y la porción dorsal se transforma en el *cerebelo*. La porción del romboencéfalo más próxima a la médula espinal llega a ser el **mielencéfalo** (*myelon*, médula espinal), que formará el *bulbo raquídeo (médula oblongada)*. Ahora examinaremos cada una de estas estructuras en el encéfalo adulto.

Regiones y referencias principales [v. figura 15.1]

En el encéfalo del adulto existen seis divisiones principales: 1) el *cerebro*; 2) el *diencéfalo*; 3) el *mesencéfalo*; 4) la *protuberancia*; 5) el *cerebelo*, y 6) el *bulbo raquídeo*.

Remitimos a la **figura 15.1** en la que proporcionamos una visión general de cada división.

Cerebro

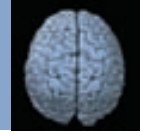
El **cerebro** es la parte más grande del encéfalo. Se divide en dos grandes **hemisferios cerebrales** pares separados por la **cisura longitudinal.** La superficie del cerebro, la *corteza* cerebral, está compuesta por sustancia gris. La corteza cerebral está atravesada por hendiduras denominadas *surcos*. Estos surcos separan las crestas intermedias que se llaman *circunvoluciones (giros)*. El cerebro está convenientemente dividido en *lóbulos* por una serie de surcos más grandes, y el nombre de los lóbulos deriva de los huesos del cráneo bajo los que se sitúan.

Los procesos del pensamiento consciente, las funciones intelectuales, el almacenamiento y la recuperación de la memoria y los patrones motores complejos se originan en el cerebro.

Diencéfalo

La porción profunda del encéfalo unida al cerebro se denomina **diencéfalo** (*dia*, a través). El diencéfalo tiene tres subdivisiones, y sus funciones pueden resumirse como sigue:

- El **epitálamo** contiene la *glándula pineal* secretora de hormonas, una estructura endocrina.
- El **tálamo** derecho y el tálamo izquierdo son centros de transmisión y procesamiento de la información sensitiva.
- El suelo del diencéfalo es el **hipotálamo** (*hypo-*, abajo), un centro de control visceral. Un tallo estrecho conecta el hipotálamo con la **glándula pituitaria** o *hipófisis* (*phyein*, generar). El hipotálamo contiene centros implicados con las emociones, la función del sistema nervioso autónomo y la producción de hormonas. Es la conexión principal entre el sistema nervioso y endocrino.



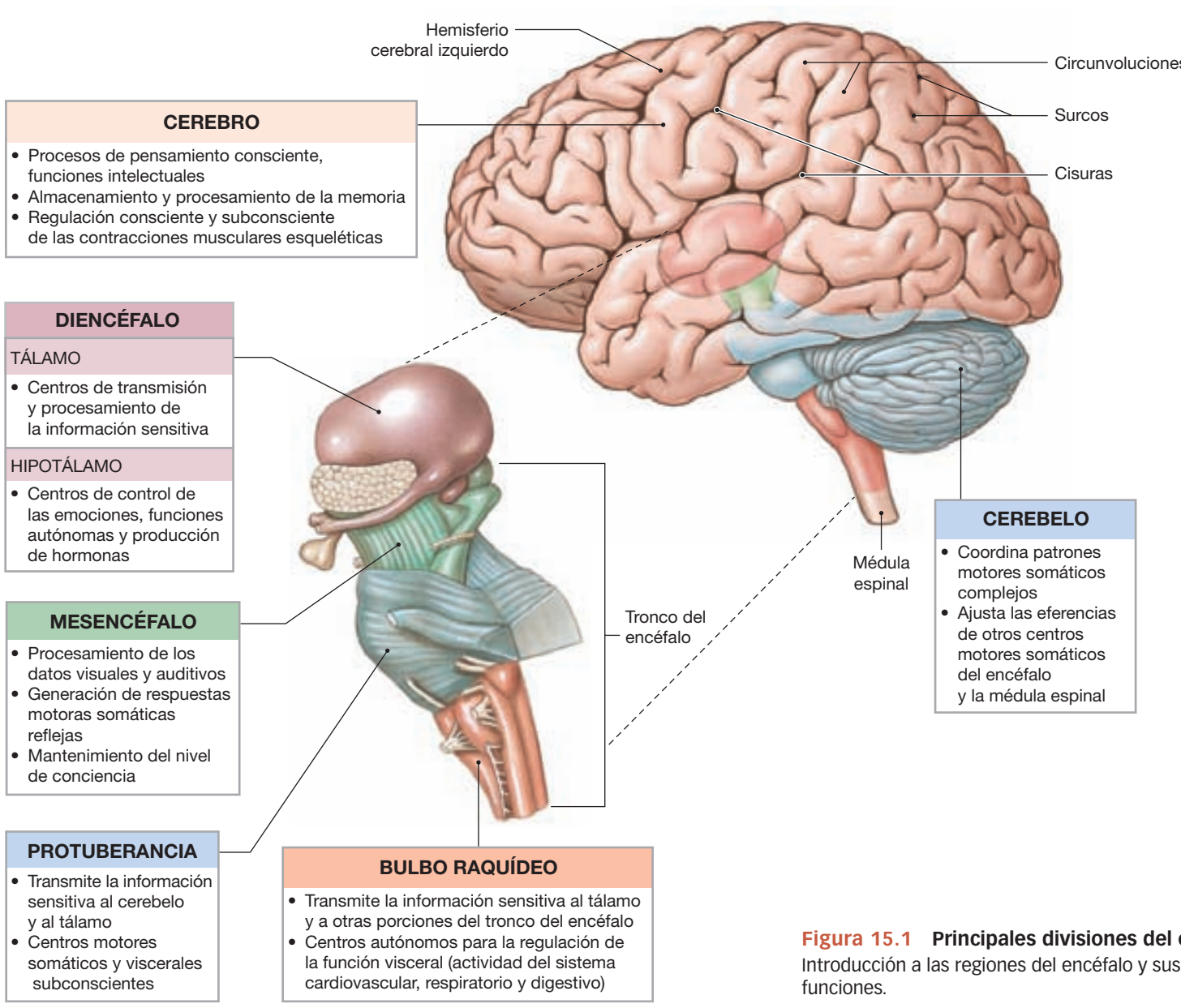
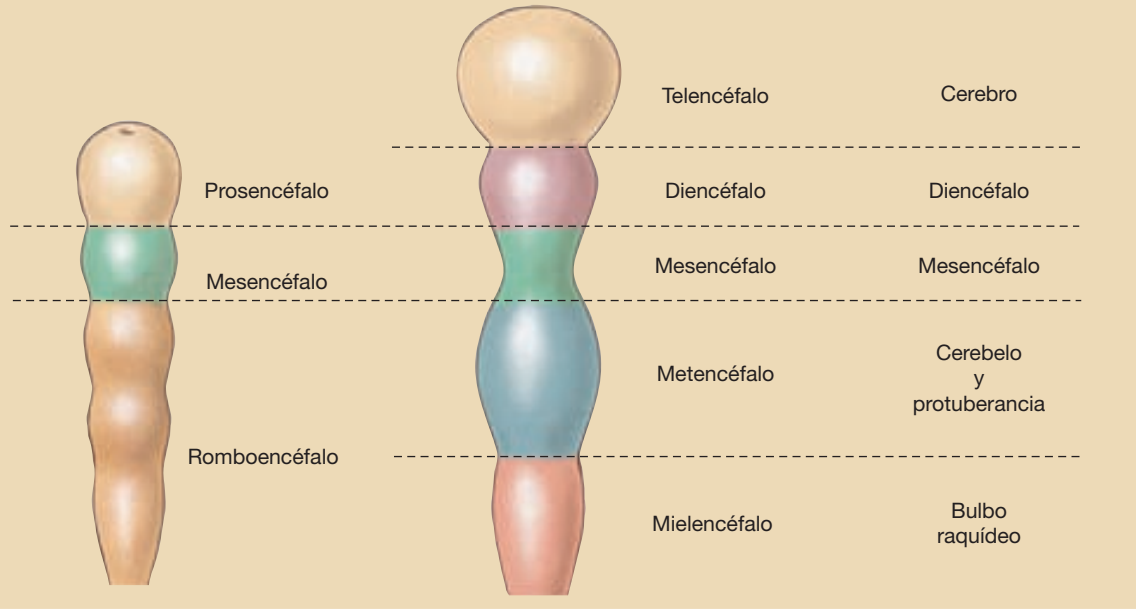

Hemisferio cerebral izquierdo
Circunvoluciones
Surcos
Cisuras
CEREBRO
• Procesos de pensamiento consciente, funciones intelectuales
• Almacenamiento y procesamiento de la memoria
• Regulación consciente y subconsciente de las contracciones musculares esqueléticas
DIENCÉFALO
TÁLAMO
• Centros de transmisión y procesamiento de la información sensitiva
HIPOTÁLAMO
• Centros de control de las emociones, funciones autónomas y producción de hormonas
MESENCÉFALO
• Procesamiento de los datos visuales y auditivos
• Generación de respuestas motoras somáticas reflejas
• Mantenimiento del nivel de conciencia
PROTUBERANCIA
• Transmite la información sensitiva al cerebelo y al tálamo
• Centros motores somáticos y viscerales subconscientes
Tronco del encéfalo
Médula espinal
CEREBELO
• Coordina patrones motores somáticos complejos
• Ajusta las eferencias de otros centros motores somáticos del encéfalo y la médula espinal
BULBO RAQUÍDEO
• Transmite la información sensitiva al tálamo y a otras porciones del tronco del encéfalo
• Centros autónomos para la regulación de la función visceral (actividad del sistema cardiovascular, respiratorio y digestivo)

Figura 15.1 Principales divisiones del encéfalo
Introducción a las regiones del encéfalo y sus principales funciones.

TABLA 15.1 Desarrollo del encéfalo humano *(v. también capítulo 28, pp. 747-798, para el resumen de embriología)*



Para visualizar las relaciones entre estas estructuras, puede comparar el diencéfalo con una caja de zapatos vacía: la tapadera es el *epitálamo*, los lados izquierdo y derecho son los *tálamos*, el fondo es el *hipotálamo* y el espacio delimitado es un ventrículo.

Las restantes regiones del encéfalo se conocen en conjunto como *tronco del encéfalo*. El **tronco del encéfalo** consta del mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo[1]. El tronco del encéfalo contiene importantes centros de procesamiento y también transmite información al cerebro o desde el cerebro o el cerebelo.

Remitimos a la **figura 15.1** en la que describimos la estructura del tronco del encéfalo.

Mesencéfalo

Los núcleos del **mesencéfalo,** o cerebro medio, procesan la información visual y auditiva y coordinan y dirigen las respuestas motoras somáticas reflejas a estos estímulos. Esta región también contiene los centros implicados en el mantenimiento de la conciencia.

Protuberancia y cerebelo

La **protuberancia** está inmediatamente inferior al mesencéfalo. Contiene los núcleos implicados en el control motor tanto somático como visceral. El término *puente* se refiere a que la protuberancia conecta el cerebelo con el tronco del encéfalo. Los hemisferios relativamente pequeños del **cerebelo** se sitúan posteriores a la protuberancia e inferiores a los hemisferios cerebrales. El cerebelo ajusta las actividades motoras automáticamente basándose en la información sensitiva y los recuerdos de los patrones de movimiento aprendidos.

Bulbo raquídeo

La médula espinal conecta el tronco del encéfalo con el **bulbo raquídeo.** La porción superior del bulbo raquídeo tiene un techo membranoso fino, mientras que la porción inferior recuerda a la médula espinal. El bulbo raquídeo transmite la información sensitiva al tálamo y a otros centros del tronco del encéfalo. Además contiene centros fundamentales relacionados con la regulación de la función autónoma, como la frecuencia cardíaca, la presión arterial y las actividades digestivas.

Organización de la sustancia gris y la sustancia blanca

La distribución general de la sustancia gris del tronco del encéfalo recuerda la de la médula espinal; existe una región interna de sustancia gris rodeada por tractos de sustancia blanca. La sustancia gris rodea los ventrículos y conductos llenos de líquido que se corresponden con el conducto central de la médula espinal. La sustancia gris forma *núcleos* –agrupaciones de forma esférica, oval o irregular de cuerpos celulares neuronales– [p. 367].

Aunque los tractos de sustancia blanca rodean estos núcleos, la disposición no es tan predecible como en la médula espinal. Por ejemplo, los tractos pueden comenzar, terminar, salir o ramificarse cuando pasan alrededor o a través de los núcleos en sus vías. En el cerebro y el cerebelo la sustancia blanca está cubierta por la **corteza nerviosa** (*cortex*, cáscara) una capa superficial de sustancia gris.

El término *centros superiores* se refiere a los núcleos, centros y áreas corticales del cerebro, el cerebelo, el diencéfalo y el mesencéfalo. Las eferencias de estos centros de procesamiento modifican las actividades de los núcleos y centros del tronco del encéfalo y la médula espinal más inferiores. Los núcleos y áreas corticales del encéfalo pueden recibir información sensitiva y enviar órdenes motoras a los efectores periféricos indirectamente, a través de la médula espinal y los nervios espinales, o directamente a través de los nervios craneales.

[1] Algunas fuentes consideran que el tronco del encéfalo incluye el diencéfalo. Nosotros utilizaremos aquí la definición más restrictiva.

Ventrículos del encéfalo [v. figura 15.2]

Los **ventrículos** son las cavidades llenas de líquido del encéfalo. Están llenos de líquido cefalorraquídeo y recubiertos por células ependimarias [p. 315]. En el encéfalo del adulto existen cuatro ventrículos: uno en cada hemisferio cerebral, un tercero en el diencéfalo y un cuarto que se sitúa entre la protuberancia y el cerebelo y que se extiende hasta la porción superior del bulbo raquídeo. En la **figura 15.2** se pueden observar la posición y orientación de los ventrículos.

Los ventrículos de los hemisferios cerebrales tienen una forma compleja. Una fina división medial, el **septo pelúcido,** separa este par de **ventrículos laterales.** El *cuerpo* de cada ventrículo lateral se sitúa en el lóbulo parietal, con un *asta anterior* que se extiende en el lóbulo frontal. El cuerpo de cada ventrículo lateral también se comunica con un *asta posterior* que se proyecta hacia el lóbulo occipital, y un *asta inferior* que se curva lateralmente en el lóbulo temporal. No existe conexión directa entre los dos ventrículos laterales, pero cada uno de ellos se comunica con el ventrículo del diencéfalo a través de un **agujero interventricular** *(agujero de Monro)*. Puesto que existen dos ventrículos laterales (primero y segundo), la cavidad del diencéfalo se denomina **tercer ventrículo.**

El mesencéfalo tiene un canal fino conocido como **acueducto del cerebro medio** *(acueducto de Silvio* o *acueducto cerebral)*. Este conducto conecta el tercer ventrículo con el **cuarto ventrículo,** que comienza entre la protuberancia y el cerebelo. En la porción inferior del bulbo raquídeo, el cuarto ventrículo se estrecha y se continúa con el conducto central de la médula espinal. Existe circulación del líquido cefalorraquídeo desde los ventrículos y el conducto central hacia el espacio subaracnoideo a través de los agujeros del techo del cuarto ventrículo. Sin embargo, antes de que pueda entender el origen y la circulación del líquido cefalorraquídeo, necesitará saber más acerca de la organización de las meninges craneales y en qué se diferencian de las meninges espinales presentadas en el capítulo 14 [p. 362].

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Enumere las seis divisiones principales del encéfalo adulto.
2. ¿Cuáles son las tres estructuras principales del tronco del encéfalo?
3. ¿Qué son los ventrículos? ¿Qué tipo de células epiteliales los recubren?
4. Enumere las vesículas encefálicas secundarias y las regiones del encéfalo asociadas con cada una en el nacimiento.

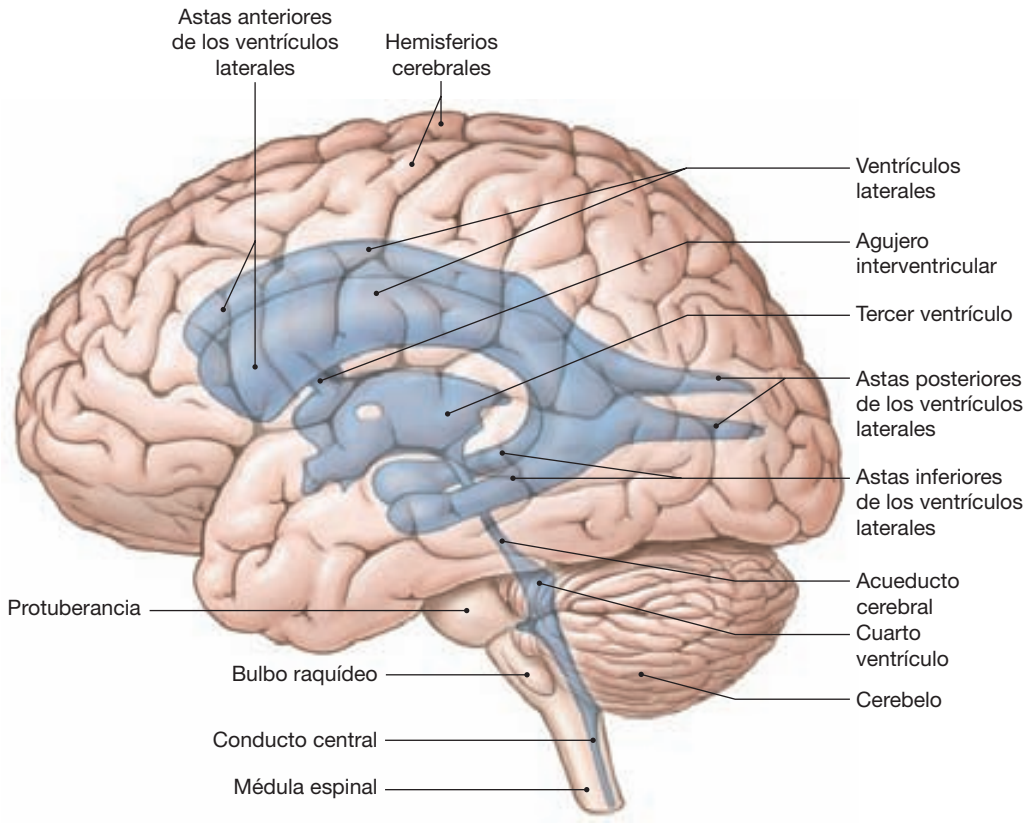
Véase «Respuestas» al final del libro.

Protección y soporte del encéfalo

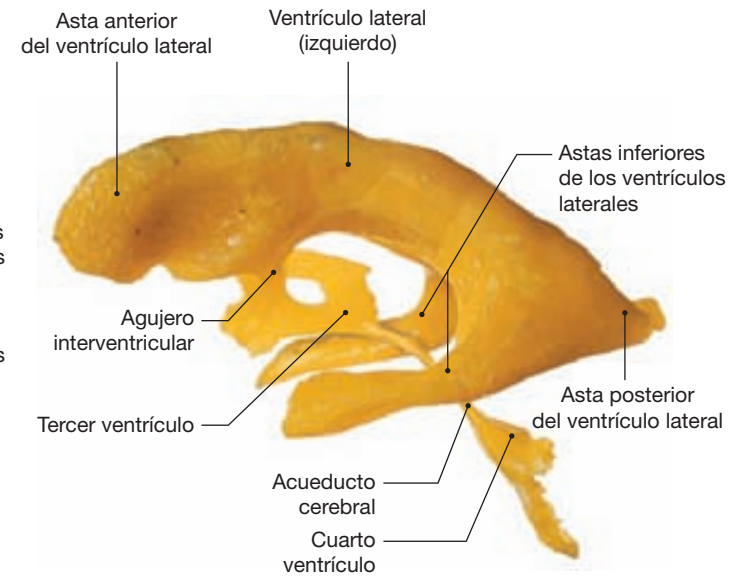
El encéfalo humano es un órgano extremadamente delicado que debe protegerse de la lesión pero seguir en contacto con el resto del cuerpo. También tiene una elevada demanda de nutrientes y oxígeno y por tanto una extensa irrigación sanguínea, aunque debe aislarse de los componentes de la sangre que podrían interferir con sus operaciones complejas. La protección, soporte y nutrición del encéfalo incluyen: 1) los huesos del cráneo, que se detallaron en el capítulo 6 [pp. 135-154]; 2) las meninges craneales; 3) el líquido cefalorraquídeo, y 4) la barrera hematoencefálica.

Meninges craneales [v. figura 15.3]

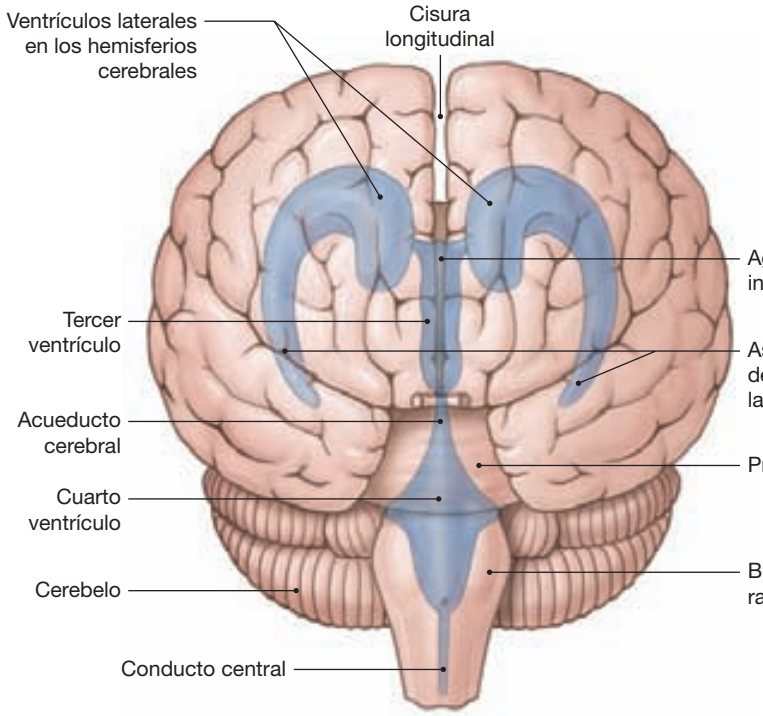
El encéfalo se sitúa mecido en el interior del cráneo y existe una correspondencia obvia entre la forma del cerebro y la de la cavidad craneal



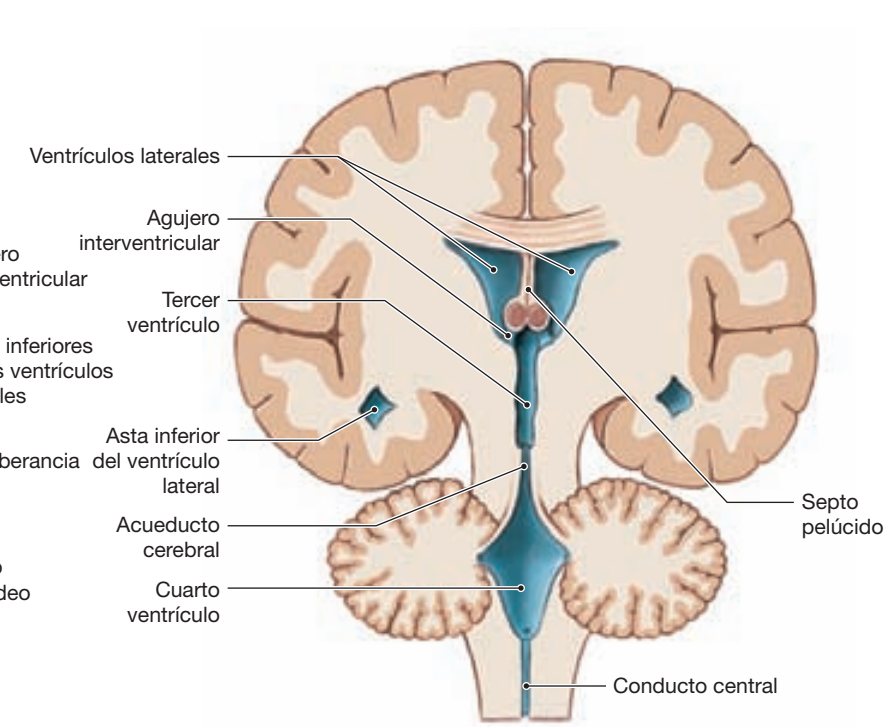
(a) Vista lateral



(b) Vista lateral



(c) Vista anterior



(d) Sección coronal

Figura 15.2 Ventrículos del encéfalo

Los ventrículos contienen líquido cefalorraquídeo que transporta nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho. **(a)** Orientación y extensión de los ventrículos como se observarían en una vista lateral de un encéfalo transparente. **(b)** Vista lateral de un molde de plástico de los ventrículos. **(c)** Vista anterior de los ventrículos como se observarían a través de un encéfalo transparente. **(d)** Sección coronal esquemática que muestra las interconexiones entre los ventrículos.

Nota clínica

Traumatismos craneoencefálicos El *traumatismo craneoencefálico (TCE)* puede ser el resultado de un contacto violento entre la cabeza y otro objeto o una sacudida importante. Las lesiones craneales suponen más de la mitad de las muertes atribuibles a traumatismos. Cada año ocurren aproximadamente 1,5 millones de casos de TCE en EE. UU. Mueren aproximadamente 50.000 personas y otras 80.000 tienen discapacidades a largo plazo.

La *conmoción cerebral* puede acompañar a las lesiones craneales incluso menores. La conmoción puede incluir confusión transitoria con un estado mental anormal, pérdida temporal de conciencia y cierto grado de amnesia. Los médicos vigilan a los individuos con conmoción de forma bastante cercana y pueden hacer radiografías o TC del cráneo para excluir fracturas o hemorragia craneal. Las conmociones leves producen una interrupción breve de la conciencia y una pequeña pérdida de memoria. Las conmociones graves producen períodos prolongados de inconsciencia y anomalías de la función neurológica. Las conmociones graves se asocian típicamente con contusiones (magulladuras), hemorragias o laceraciones (desgarros) del tejido encefálico; las posibilidades de recuperación varían con las áreas afectadas. La lesión extensa de la formación reticular puede producir un estado permanente de inconsciencia, y la lesión del tronco del encéfalo inferior generalmente demuestra ser fatal.

Llevar casco durante actividades como andar en bicicleta, montar a caballo, patinar o ir en motocicleta, al hacer deportes de contacto como fútbol americano y jockey y batear o correr hacia la base en el béisbol, proporciona protección al cerebro. Los cinturones de seguridad dan una protección similar en el caso de un accidente de automóvil. Si se produce una conmoción se recomienda limitar las actividades, incluyendo un retraso en el retorno a la actividad que condujo a la lesión.

(**v. figura 15.3**). Los sólidos huesos craneales proporcionan protección mecánica, pero también suponen una amenaza. El cerebro es como una persona conduciendo un coche. Si el coche choca contra un árbol, el coche protege al conductor del contacto con el árbol, pero se producirá una lesión grave a menos que un cinturón de seguridad o un *airbag* proteja al conductor del contacto con el coche.

En la cavidad craneal, las **meninges craneales** que rodean el encéfalo proporcionan esta protección actuando como absorbentes de los impactos que evitan el contacto con los huesos circundantes (**v. figura 15.3a**). Las meninges craneales se continúan con las meninges espinales y tienen las mismas capas: *duramadre* (externa), *aracnoides* (media) y *piamadre* (interna). Sin embargo, las meninges craneales tienen especializaciones y funciones particulares.

Duramadre [v. figura 15.3/15.4]

La **duramadre** craneal consta de dos capas fibrosas. La capa más externa, o *capa endostial*, se fusiona con el periostio que recubre los huesos craneales (**v. figura 15.3a**). La capa más interna se denomina *capa meníngea*; en muchas áreas las capas endostial y meníngea están separadas por un espacio estrecho que contiene líquido intersticial y vasos sanguíneos, incluyendo las grandes venas conocidas como **senos durales.** Las venas del cerebro se abren en estos senos que a su vez vierten la sangre en la *vena yugular interna* del cuello.

En cuatro localizaciones, los pliegues de la capa meníngea de la duramadre craneal se extienden profundamente en la cavidad craneal. Estos tabiques subdividen la cavidad craneal y proporcionan un soporte para el encéfalo, limitando el movimiento del cerebro (**v. figuras 15.3b** y **15.4**):

- La **hoz del cerebro** (*falx*, curvo o en forma de hoz) es un pliegue de duramadre que se proyecta entre los hemisferios cerebrales en la cisura longitudinal. Sus porciones inferiores se fijan en la *crista galli* (anteriormente) y en la protuberancia occipital interna y la *tienda del cerebelo* (posteriormente). En este pliegue dural viajan dos grandes senos venosos, el **seno sagital superior** y el **seno sagital inferior.**
- La **tienda del cerebelo (tentorio)** (*tentorium*, cubierta) sostiene y protege los dos lóbulos occipitales del cerebro. También separa los hemisferios cerebelosos de los del cerebro. Se extiende a través del cráneo en ángulo recto hasta la hoz del cerebro. El **seno transverso** se sitúa en la tienda del cerebelo.
- La **hoz del cerebelo** se extiende en la línea mediosagital, inferior a la tienda del cerebelo separando los dos hemisferios cerebelosos. Su margen posterior que está cerrado contiene el *seno occipital*.
- El **diafragma de la silla** es una continuación de la lámina dural que cubre la silla turca del esfenoides (**v. figura 15.3b**). El diafragma de la silla ancla la duramadre al esfenoides y envuelve la base de la hipófisis.

Aracnoides [v. figura 15.4]

La **aracnoides** craneal es una delicada membrana que cubre el encéfalo y se sitúa entre la duramadre superficial y la piamadre que está en contacto con el tejido nervioso del encéfalo. En la mayoría de las preparaciones anatómicas, un estrecho **espacio subdural** separa el epitelio opuesto de la duramadre y la aracnoides craneal. Sin embargo, es probable que en vida no exista tal espacio. La aracnoides craneal proporciona una superficie lisa que no sigue las hendiduras subyacentes del tejido nervioso o *surcos*. Profundo a la aracnoides se encuentra el **espacio subaracnoideo** que contiene una red fina, similar a una telaraña, de fibras de colágeno y elásticas que unen la aracnoides con la piamadre subyacente. Externamente, a lo largo del eje del seno sagital superior, unas extensiones digitiformes de la aracnoides craneal penetran en la duramadre y se proyectan hacia el interior de los senos venosos. En estas proyecciones, denominadas **granulaciones aracnoideas,** el líquido cefalorraquídeo fluye a través de haces de fibras (las *trabéculas aracnoideas*), cruza la aracnoides y entra en la circulación venosa (**v. figura 15.4b,c**). La aracnoides craneal actúa como techo sobre los vasos sanguíneos craneales, y la piamadre subyacente forma el suelo. Las arterias y venas cerebrales tienen su sujeción en las trabéculas aracnoideas y están rodeadas por el líquido cefalorraquídeo. Los vasos sanguíneos, rodeados y suspendidos por las trabéculas aracnoideas, penetran en el estroma del encéfalo a través de canales recubiertos por piamadre.

Piamadre [v. figura 15.4]

La **piamadre** craneal está estrechamente adherida a la superficie del encéfalo, siguiendo su contorno y recubriendo los surcos. La piamadre está anclada a la superficie del encéfalo por las prolongaciones de los astrocitos **[pp. 344-345]**. La piamadre craneal es una membrana muy vascularizada que actúa como un suelo que sostiene los grandes vasos sanguíneos cerebrales cuando se ramifican sobre la superficie del encéfalo, invadiendo los contornos del tejido nervioso para la irrigación de las áreas de la corteza cerebral (**v. figura 15.4**). Una irrigación extensa es vital porque el cerebro requiere un aporte constante de nutrientes y oxígeno.

Barrera hematoencefálica

El tejido nervioso del SNC tiene una extensa irrigación a pesar de estar aislado de la circulación por la **barrera hematoencefálica (BHE).** Esta barrera proporciona un medio para mantener un entorno constante que es necesario tanto para el control como para el funcionamiento adecuado de las neuronas del SNC.

Esta barrera existe debido a la anatomía específica y a las características de transporte de las células endoteliales que recubren los capilares del SNC. Estas células endoteliales están extensamente interconectadas mediante uniones estrechas que evitan la difusión de sustancias entre células endoteliales adyacentes. Como consecuencia, sólo los compuestos liposolubles pueden difundir a

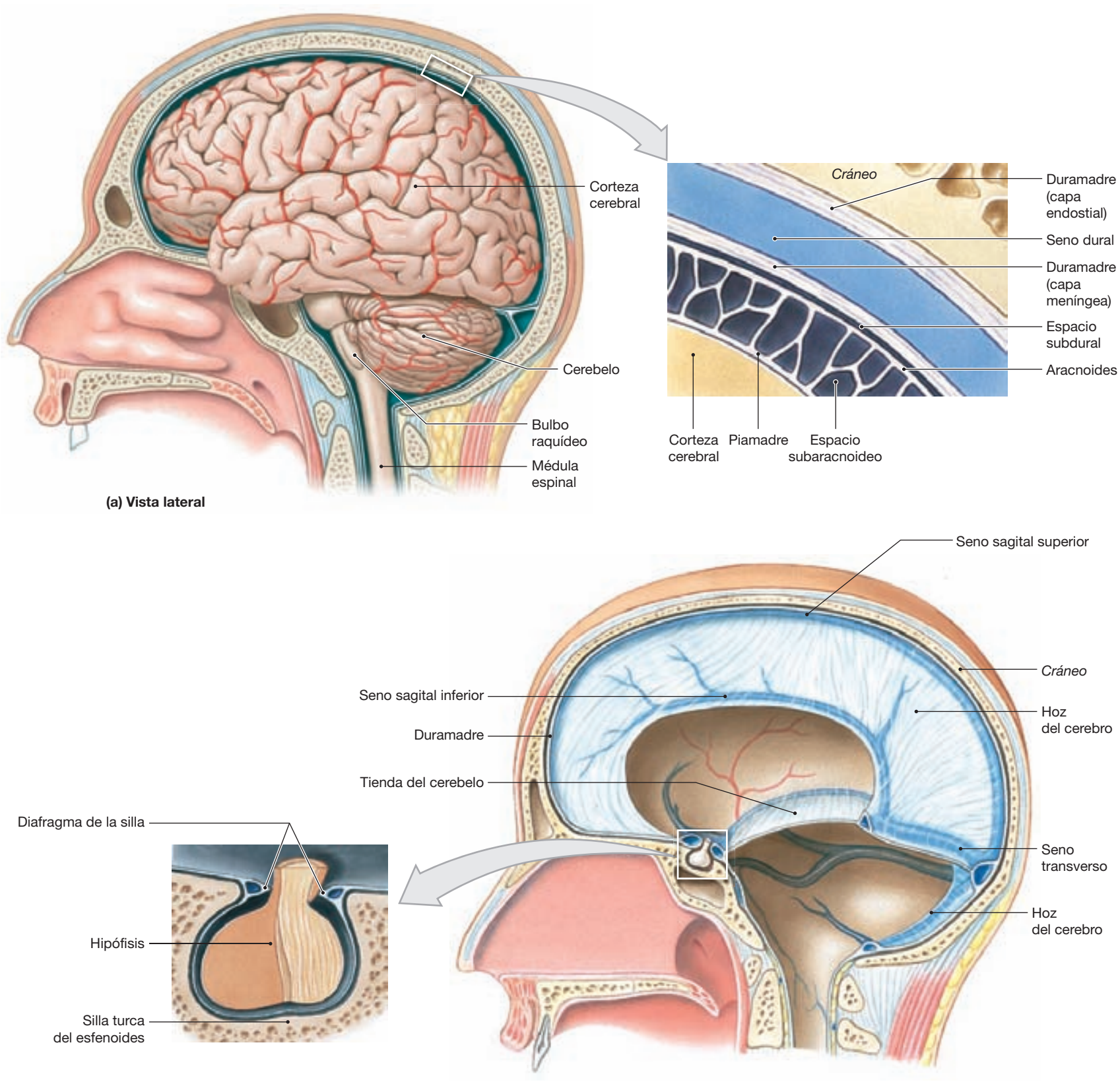


Figura 15.3 **Relaciones entre el encéfalo, el cráneo y las meninges**
(a) Vista lateral del encéfalo que muestra su posición en el cráneo y la organización de las cubiertas meníngeas. **(b)** Una vista correspondiente de la cavidad craneal tras extraer el encéfalo, mostrando la orientación y extensión de la hoz del cerebro y la tienda del cerebelo.

través del plasmalema endotelial y hacia el líquido intersticial del encéfalo y la médula espinal. Además, las células endoteliales de estos capilares presentan muy pocas vesículas pinocíticas, lo que limita el movimiento de compuestos de alto peso molecular hacia el SNC. Los compuestos hidrosolubles pueden cruzar las paredes capilares sólo mediante mecanismos de transporte pasivo o activo. Están implicadas muchas proteínas transportadoras diferentes y su actividad es bastante específica. Por ejemplo, el sistema de transporte de la glucosa es diferente del que transporta los aminoácidos grandes. Las características de per-

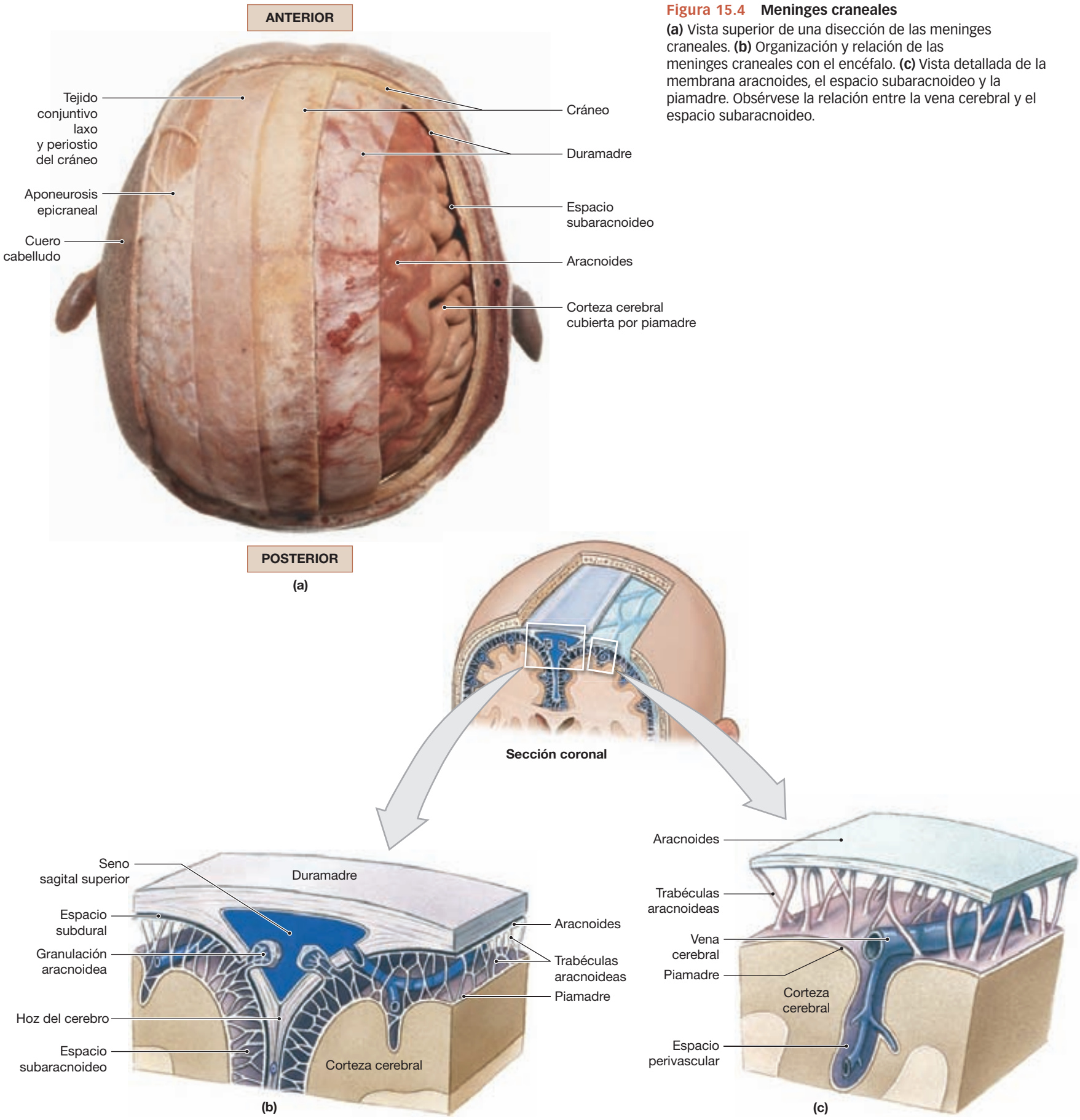


Figura 15.4 Meninges craneales
(a) Vista superior de una disección de las meninges craneales. **(b)** Organización y relación de las meninges craneales con el encéfalo. **(c)** Vista detallada de la membrana aracnoides, el espacio subaracnoideo y la piamadre. Obsérvese la relación entre la vena cerebral y el espacio subaracnoideo.

meabilidad limitada del recubrimiento endotelial de los capilares encefálicos son en cierto modo dependientes de sustancias químicas secretadas por los astrocitos. Estas células, que están en contacto estrecho con los capilares del SNC, se describieron en el capítulo 13 [p. 344].

El transporte endotelial a través de la barrera hematoencefálica es selectivo y direccional. Las neuronas tienen una necesidad constante de glucosa que debe cubrirse independientemente de las concentraciones relativas en la sangre y el líquido intersticial. Incluso cuando los niveles de glucosa circulantes son

Nota clínica

Hemorragias epidurales y subdurales Una lesión craneal grave puede dañar los vasos meníngeos y causar una hemorragia en el espacio epidural o subdural. Los casos más frecuentes de sangrado epidural, o **hemorragia epidural,** implican una rotura arterial. La presión de la sangre arterial impulsa rápidamente cantidades considerables de sangre hacia el espacio epidural, distorsionando los tejidos blandos subyacentes del encéfalo. El individuo pierde la conciencia desde minutos hasta horas después de la lesión, y en los casos no tratados se sigue de muerte.

Una hemorragia epidural que implica la lesión de una vena no produce síntomas masivos inmediatamente, y el individuo puede perder la conciencia varias horas a varios días o incluso semanas después del incidente original. En consecuencia, el problema puede no apreciarse hasta que el tejido nervioso se ha dañado de forma grave por distorsión, compresión y hemorragia secundaria. Las hemorragias epidurales son raras, apareciendo en menos de un 1% de las lesiones craneales. Esta rareza es bastante afortunada, ya que la frecuencia de mortalidad es del 100% en los casos no tratados y de más del 50% incluso después de la extracción de la colección hemática y el cierre de los vasos dañados.

El término **hemorragia subdural** es algo confuso porque la sangre realmente penetra en la capa interna de la duramadre, fluyendo bajo el epitelio que contacta con la membrana aracnoides. Las hemorragias subdurales son aproximadamente dos veces más frecuentes que las hemorragias epidurales. La fuente más frecuente de la sangre es una pequeña vena o uno de los senos durales. Puesto que la presión sanguínea es algo más baja que en una hemorragia epidural típica, la extensión y los efectos del trastorno pueden ser bastante variables. La hemorragia produce una masa de sangre coagulada y parcialmente coagulada; esta masa se denomina *hematoma*. Los *hematomas subdurales agudos* se hacen sintomáticos en minutos a horas después de la lesión. Los *hematomas subdurales crónicos* pueden producir síntomas semanas, meses o incluso años después de una lesión craneal.

bajos, las células endoteliales continúan transportando glucosa desde la sangre hasta el líquido intersticial del encéfalo. En cambio, el aminoácido *glicina* es un neurotransmisor, y su concentración en el tejido nervioso debe mantenerse mucho más baja que en la sangre circulante. Las células endoteliales absorben activamente este compuesto del líquido intersticial del encéfalo y lo secretan a la sangre.

La barrera hematoencefálica se mantiene intacta en todo el SNC, con tres excepciones dignas de mención:

1. En algunas porciones del hipotálamo, el endotelio capilar tiene una permeabilidad mayor que expone los núcleos hipotalámicos de la región anterior y tuberal a las hormonas circulantes y permite la difusión de las hormonas hipotalámicas a la circulación.
2. Los capilares de la *glándula pineal* también son muy permeables. La glándula pineal, una estructura endocrina, se localiza en el techo del diencéfalo. La permeabilidad capilar permite las secreciones pineales a la circulación general.
3. En el techo membranoso del tercero y cuarto ventrículos, la piamadre tiene redes capilares extensas que se proyectan hacia el interior de los ventrículos del cerebro. Estos capilares son inusualmente permeables. Sin embargo, las sustancias no tienen acceso libre al SNC debido a que los capilares están cubiertos por células ependimarias modificadas que se encuentran interconectadas por uniones estrechas. Este complejo, el *plexo coroideo*, es el lugar de producción del líquido cefalorraquídeo.

Líquido cefalorraquídeo

El **líquido cefalorraquídeo** rodea y baña completamente las superficies expuestas del sistema nervioso central. Tiene varias funciones importantes, incluyendo:

1. *Evitar el contacto* entre las delicadas estructuras nerviosas y los huesos que las rodean.
2. *Sostener el cerebro*: en esencia, el cerebro está suspendido dentro del cráneo, flotando en el líquido cefalorraquídeo. Un cerebro humano pesa aproximadamente 1.400 g al aire, pero sólo es un poco más denso que el agua; cuando lo sujeta el líquido cefalorraquídeo sólo pesa unos 50 g.
3. *Transportar nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho:* excepto en el plexo coroideo, el recubrimiento ependimario es libremente permeable y el LCR está en comunicación química constante con el líquido intersticial del SNC. Puesto que tiene lugar un intercambio libre entre el líquido intersticial y el LCR, los cambios en la función del SNC pueden producir cambios en la composición del LCR. Como se señaló en el capítulo 14, una punción espinal puede proporcionar información clínica útil en relación con una lesión, infección o enfermedad del SNC [p. 366].

Formación del LCR [v. figura 15.5]

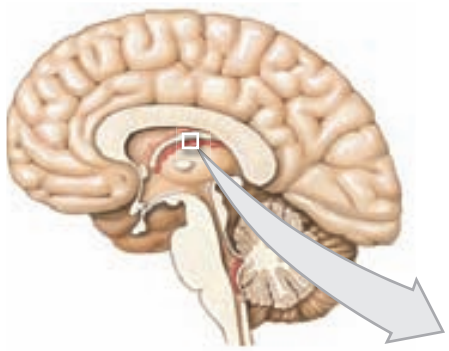
Todos los ventrículos contienen un **plexo coroideo** (*choroid*, capa vascular + *plexus*, red) que consta de una combinación de células ependimarias especializadas y capilares muy permeables. En el techo del tercer ventrículo se originan dos pliegues extensos del plexo coroideo que se extienden a través de los agujeros interventriculares hacia los ventrículos laterales. Estos pliegues cubren el suelo de los ventrículos laterales (**v. figura 15.5a**). En la parte inferior del tronco del encéfalo, una región del plexo coroideo del techo del cuarto ventrículo se proyecta entre el cerebelo y la protuberancia.

El plexo coroideo es responsable de la producción del líquido cefalorraquídeo (LCR). Los capilares son fenestrados y muy permeables, pero grandes células ependimarias muy especializadas revisten los capilares y evitan el intercambio libre entre esos capilares y el LCR de los ventrículos. Las células ependimarias utilizan mecanismos de transporte tanto activo como pasivo para secretar el líquido cefalorraquídeo a los ventrículos. La regulación de la composición del LCR implica el transporte en ambas direcciones, y el plexo coroideo elimina los productos de desecho del LCR y hace finos ajustes de su composición constantemente. Existen muchas diferencias entre la composición del líquido cefalorraquídeo y el plasma sanguíneo (la sangre tras la eliminación de los elementos celulares). Por ejemplo, la sangre contiene concentraciones elevadas de proteínas en suspensión, pero el LCR no. También existen diferencias en las concentraciones de los iones individuales y en los niveles de aminoácidos, lípidos y productos de desecho (**v. figura 15.5b**). Por tanto, aunque el LCR deriva del plasma, no es meramente un simple filtrado de la sangre.

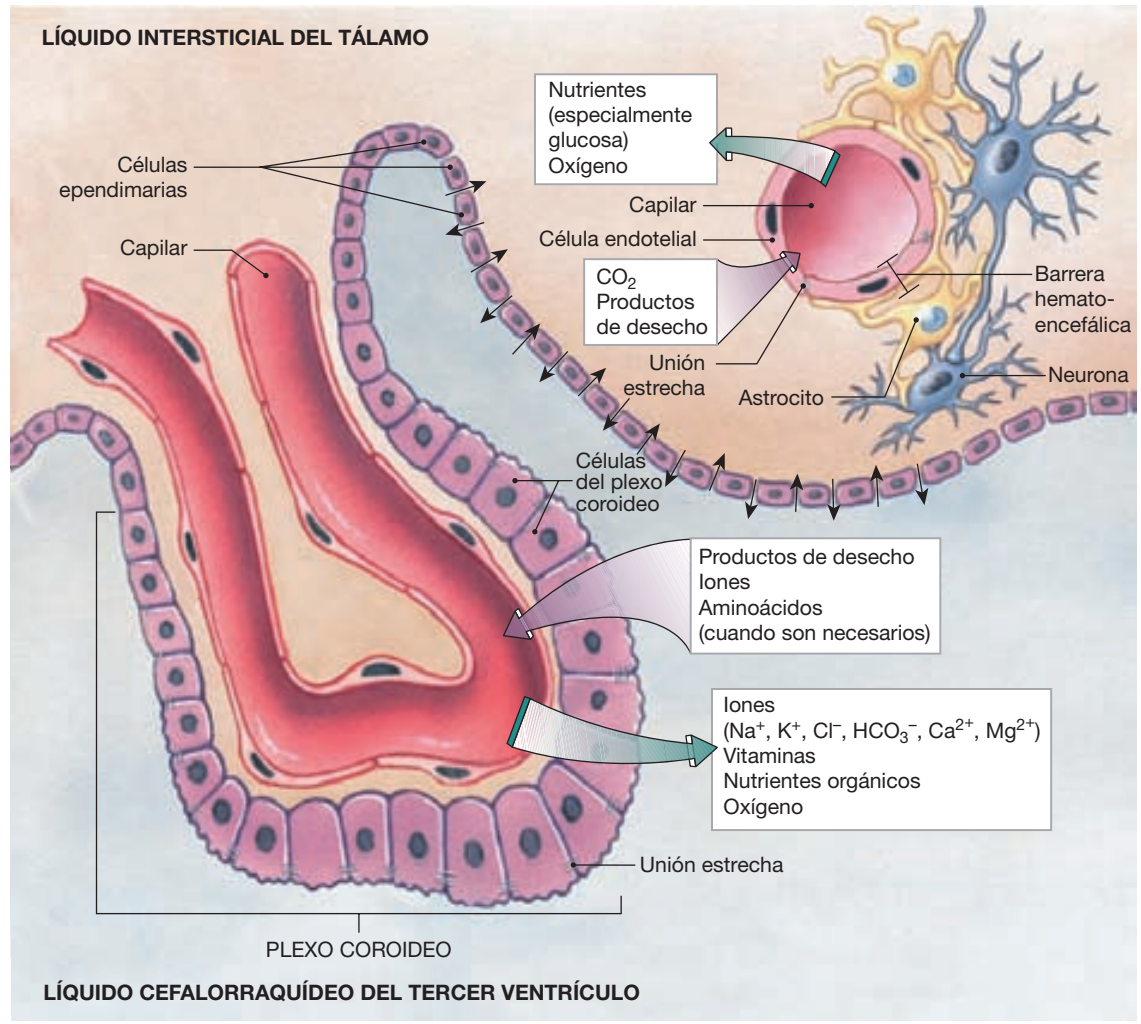
Circulación del LCR [v. figuras 14.4a/15.4b/15.6]

El plexo coroideo produce LCR a una velocidad de aproximadamente 500 mL/día. El volumen total de LCR en un momento dado es unos 150 mL. Esto significa que todo el volumen del LCR se reemplaza aproximadamente cada 8 horas. A pesar de este rápido recambio, la composición del LCR se regula de forma estrecha y la velocidad de eliminación normalmente va al mismo ritmo que la velocidad de producción.

El LCR producido en los ventrículos laterales fluye hacia el tercer ventrículo a través del *agujero interventricular*. Desde allí, el LCR pasa por el *acueducto cerebral*. La mayor parte del LCR que alcanza el cuarto ventrículo entra al espacio subaracnoideo pasando a través de unos **agujeros laterales** pares y de un **agujero medio** en su techo membranoso. (Una cantidad relativamente pequeña de líquido cefalorraquídeo circula entre el cuarto ventrículo y el conducto central de la médula espinal.) El LCR fluye continuamente a través del



(a) Plexo coroideo



(b)

Figura 15.5 Plexo coroideo y barrera hematoencefálica
(a) La localización del plexo coroideo en cada uno de los cuatro ventrículos del encéfalo. **(b)** La estructura y función del plexo coroideo. Las células ependimarias son una barrera selectiva que transportan activamente nutrientes, vitaminas e iones al LCR. Cuando es necesario, estas células también extraen activamente iones o compuestos del LCR para estabilizar su composición.

espacio subaracnoideo que rodea el encéfalo, y los movimientos de la columna vertebral lo desplazan alrededor de la médula espinal y la cola de caballo (v. figura 14.4a) [p. 366]. Finalmente el líquido cefalorraquídeo vuelve a entrar en la circulación a través de las **granulaciones aracnoideas** (v. figuras 15.4b y 15.6). Si se interrumpe la circulación normal del LCR pueden aparecer varios problemas clínicos.

Irrigación del encéfalo [v. figuras 22.13/22.22]

Las neuronas tienen una elevada demanda de energía y ante su carencia tienen reservas energéticas en forma de carbohidratos o lípidos. Además, las neuronas carecen de mioglobina y no tienen medios para almacenar reservas de oxígeno. Por ello sus demandas energéticas deben satisfacerse mediante una extensa irrigación. La sangre arterial alcanza el encéfalo a través de las *arterias carótidas internas* y las *arterias vertebrales*. La mayor parte de la sangre venosa del encéfalo sale del cráneo en las *venas yugulares internas* que drenan los senos durales. Las arterias que llevan sangre al encéfalo y las venas que salen del encéfalo se tratarán en el capítulo 22. Una lesión de la cabeza que dañe los vasos sanguíneos cerebrales puede causar una hemorragia en la duramadre, cerca del epitelio dural o bien entre la capa externa de la duramadre y los huesos del cráneo. Estos son trastornos serios porque la sangre que entra en estos espacios comprime y distorsiona los tejidos relativamente blandos del encéfalo.

Las **enfermedades cerebrovasculares** son trastornos circulatorios que interfieren con la irrigación normal del encéfalo. La distribución particular del vaso afectado determina los síntomas, y el grado de deprivación de oxígeno o nutrientes determina la gravedad. Un **accidente cerebrovascular (ACV)**, o *ictus*, se produce cuando se interrumpe la irrigación sanguínea de una porción del encéfalo. Las neuronas afectadas comienzan a morir en cuestión de minutos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique las cuatro extensiones de la capa más interna de la duramadre en la cavidad craneal que proporcionan estabilidad y soporte al encéfalo.
2. Comente la estructura y función de la piamadre.
3. ¿Cuál es la función de la barrera hematoencefálica?
4. ¿Cuál es la función del líquido cefalorraquídeo? ¿Dónde se forma?

Véase «Respuestas» al final del libro.

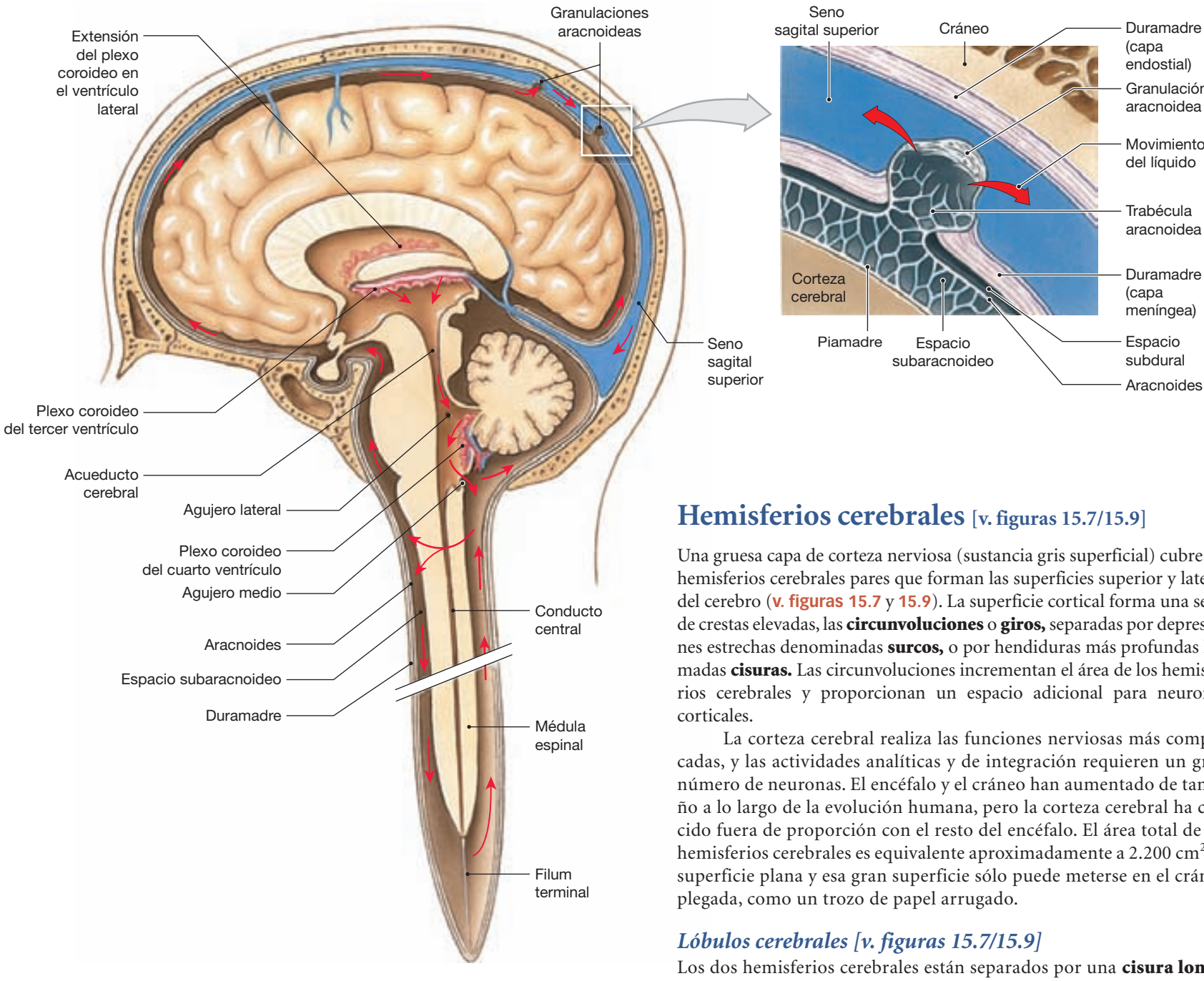


Figura 15.6 Circulación del líquido cefalorraquídeo
Sección sagital que indica los lugares de formación y las vías de circulación del líquido cefalorraquídeo.

Cerebro [v. figuras 15.1/15.7/15.9]

El cerebro es la región más grande del encéfalo. Está formado por los *hemisferios cerebrales* pares que descansan sobre el diencéfalo y el tronco del encéfalo. Los procesos de pensamiento consciente y todas las funciones intelectuales se originan en los hemisferios cerebrales. Gran parte del cerebro está implicado en el procesamiento de la información sensitiva y motora somática. La información sensitiva somática transmitida al cerebro alcanza nuestra conciencia y las neuronas cerebrales ejercen un control directo (voluntario) o indirecto (involuntario) sobre las neuronas motoras somáticas. La mayor parte del procesamiento sensitivo visceral y del control motor visceral (autónomo) tiene lugar en centros situados en otros lugares del encéfalo, generalmente fuera de nuestra conciencia. Las **figuras 15.1**, p. 388, **15.7** y **15.9** proporcionan una perspectiva adicional del cerebro y sus relaciones con otras regiones del encéfalo.

Hemisferios cerebrales [v. figuras 15.7/15.9]

Una gruesa capa de corteza nerviosa (sustancia gris superficial) cubre los hemisferios cerebrales pares que forman las superficies superior y lateral del cerebro (**v. figuras 15.7** y **15.9**). La superficie cortical forma una serie de crestas elevadas, las **circunvoluciones** o **giros,** separadas por depresiones estrechas denominadas **surcos,** o por hendiduras más profundas llamadas **cisuras.** Las circunvoluciones incrementan el área de los hemisferios cerebrales y proporcionan un espacio adicional para neuronas corticales.

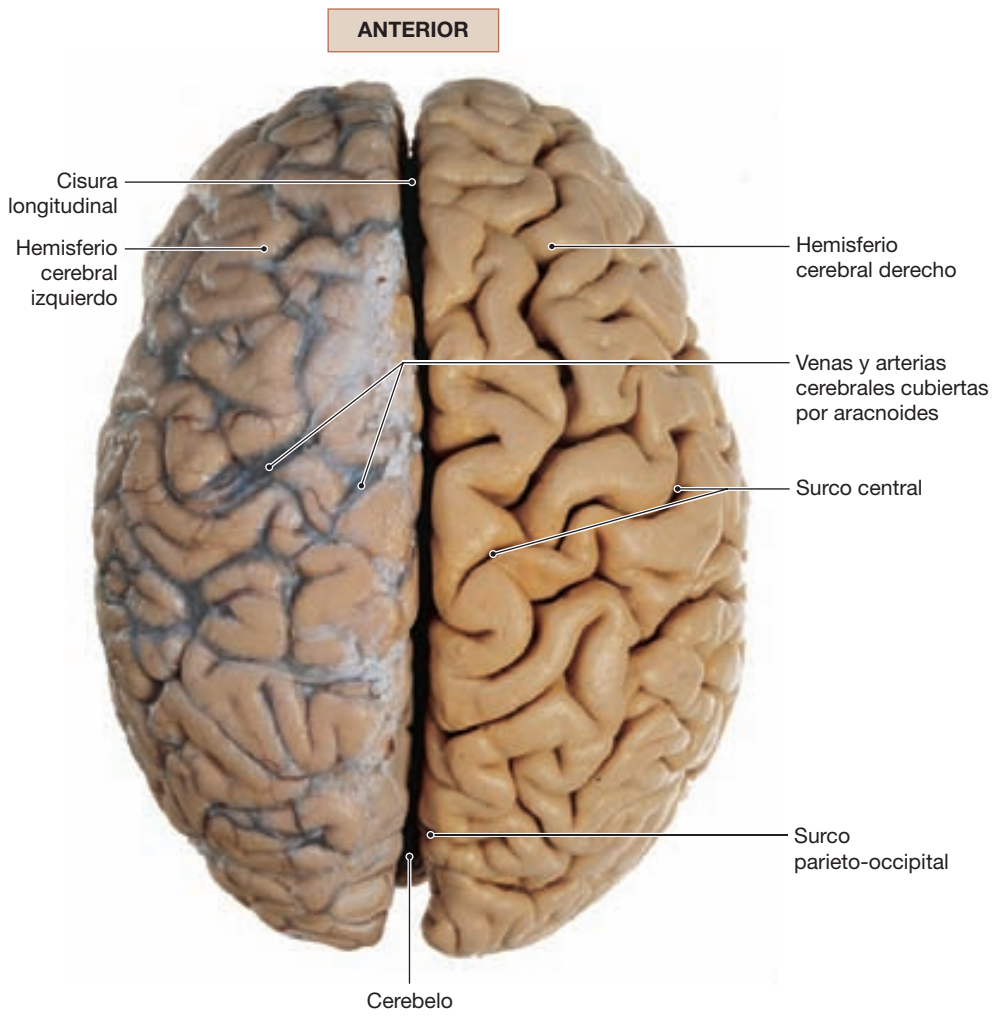
La corteza cerebral realiza las funciones nerviosas más complicadas, y las actividades analíticas y de integración requieren un gran número de neuronas. El encéfalo y el cráneo han aumentado de tamaño a lo largo de la evolución humana, pero la corteza cerebral ha crecido fuera de proporción con el resto del encéfalo. El área total de los hemisferios cerebrales es equivalente aproximadamente a 2.200 cm^2 de superficie plana y esa gran superficie sólo puede meterse en el cráneo plegada, como un trozo de papel arrugado.

Lóbulos cerebrales [v. figuras 15.7/15.9]

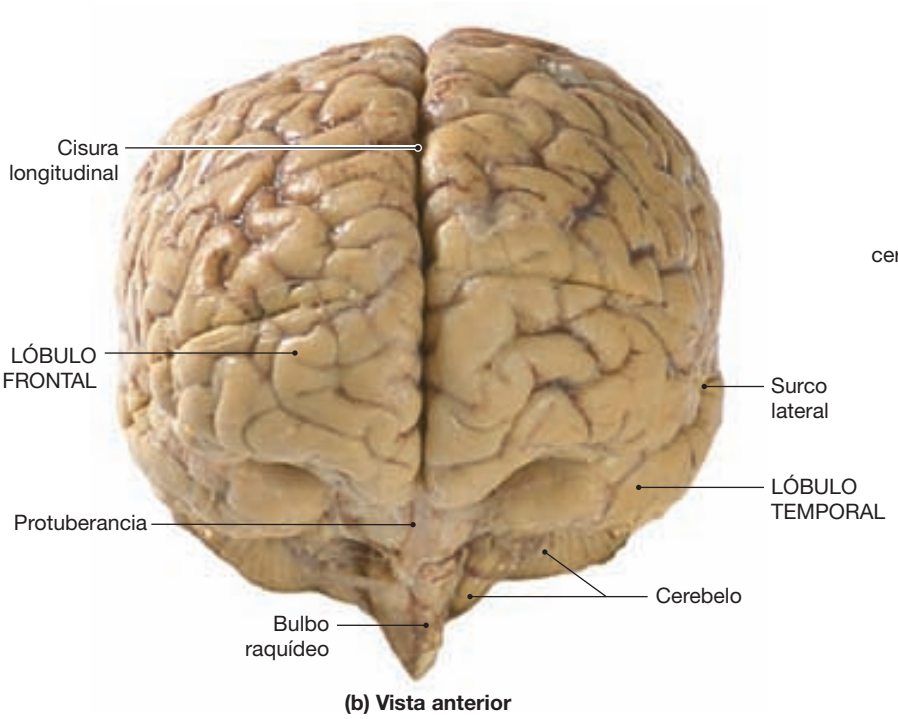
Los dos hemisferios cerebrales están separados por una **cisura longitudinal** profunda (**v. figura 15.7**), y cada hemisferio puede dividirse en **lóbulos** que se denominan según los huesos del cráneo suprayacentes (**v. figura 15.9a**). Existen diferencias en el aspecto de los surcos y circunvoluciones de cada encéfalo individual, pero los límites entre los lóbulos son referencias fiables. Un surco profundo, el **surco central,** se extiende lateralmente desde la cisura longitudinal. El área anterior al surco central es el **lóbulo frontal,** y el **surco lateral** marca su borde inferior. La región inferior al surco lateral es el **lóbulo temporal.** Reflejando este lóbulo hacia un lado (**v. figura 15.9b**) se expone la **ínsula,** una «isla» de corteza que de otra forma está oculta. El **lóbulo parietal** se extiende posteriormente desde el surco central hasta el **surco parieto-occipital.** La región posterior al surco parieto-occipital es el **lóbulo occipital.**

Cada lóbulo contiene regiones funcionales cuyos límites están menos claramente definidos. Algunas de estas regiones funcionales procesan la información sensitiva, mientras que otras son responsables de las órdenes motoras. Deben tenerse en cuenta tres puntos acerca de los lóbulos cerebrales:

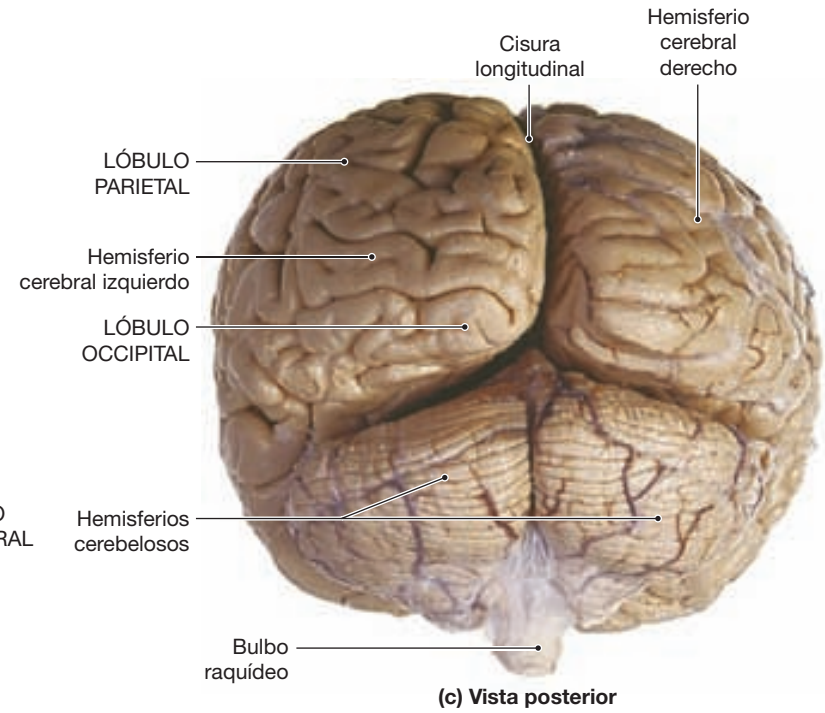
1. *Cada hemisferio cerebral recibe información sensitiva del lado opuesto del cuerpo y genera órdenes motoras para el mismo*. El hemisferio



(a) Vista superior



(b) Vista anterior



(c) Vista posterior

TABLA 15.2 Corteza cerebral

Región (lóbulo)	Funciones
LÓBULO FRONTAL	
Corteza motora primaria	Control consciente de los músculos estriados
LÓBULO PARIETAL	
Corteza sensitiva primaria	Percepción consciente del tacto, la presión, la vibración, el dolor, la temperatura y el gusto
LÓBULO OCCIPITAL	
Corteza visual	Percepción consciente de los estímulos visuales
LÓBULO TEMPORAL	
Corteza auditiva y corteza olfatoria	Percepción consciente de los estímulos auditivos y olfativos
TODOS LOS LÓBULOS	
Áreas de asociación	Integración y procesamiento de los datos sensitivos; procesamiento e iniciación de las actividades motoras

Figura 15.7 Hemisferios cerebrales, parte I
Los hemisferios cerebrales son la parte más grande del encéfalo adulto. **(a)** Vista superior. **(b)** Vista anterior. **(c)** Vista posterior. Obsérvese el tamaño relativamente pequeño de los hemisferios cerebelosos.

Nota clínica

Hidrocefalia El encéfalo adulto está rodeado por los huesos del cráneo que no son flexibles. La cavidad craneal contiene dos líquidos (sangre y líquido cefalorraquídeo) y los tejidos relativamente blandos del encéfalo. Puesto que el volumen total no puede cambiar, cuando el volumen de sangre o LCR aumenta, el volumen del cerebro debe disminuir. En una hemorragia subdural o epidural, el volumen de líquido aumenta a medida que la sangre se acumula en la cavidad craneal. El aumento de presión intracraneal comprime el encéfalo conduciendo a una disfunción neurológica que a menudo culmina en pérdida de conciencia y muerte.

Cualquier alteración en la velocidad de producción del líquido cefalorraquídeo normalmente se corresponde con un incremento en la velocidad de eliminación en las granulaciones aracnoideas. Si se altera este equilibrio, aparecen problemas a medida que cambia la presión intracraneal. El volumen del líquido cefalorraquídeo aumentará si se acelera la velocidad de formación o disminuye la velocidad de eliminación. En cualquiera de estos casos, el aumento de volumen del líquido conduce a compresión y distorsión del encéfalo. El incremento de la velocidad de formación puede acompañar a las lesiones craneales, pero los problemas más frecuentes derivan de masas, como tumores o abscesos, o de anomalías del desarrollo. Estos trastornos tienen el mismo efecto: limitan la circulación y reabsorción normal del LCR. Puesto que la producción del LCR continúa, los ventrículos se expanden gradualmente distorsionando los tejidos nerviosos circundantes y causando el deterioro de la función encefálica.

Los lactantes son especialmente sensibles a las alteraciones de la presión intracraneal, porque las granulaciones aracnoideas no aparecen hasta aproximadamente los 3 años de edad (mientras tanto, el LCR se reabsorbe en los pequeños vasos del espacio subaracnoideo y bajo el epéndimo). Como en el adulto, si la presión intracraneal llega a ser anormalmente alta, los ventrículos se expandirán. Pero en un lactante, las suturas craneales aún tienen que fusionarse, y el cráneo puede aumentar de tamaño para adaptarse al exceso de volumen de líquido. Este aumento de tamaño produce un cráneo enormemente expandido, trastorno denominado **hidrocefalia,** o «agua en el encéfalo». La hidrocefalia del lactante (**v. figura 15.8**) deriva con frecuencia de alguna interferencia con la circulación normal del LCR, como una obstrucción del acueducto cerebral o un estrechamiento de la conexión entre el espacio subaracnoideo de las meninges craneales y espinales. Los lactantes no tratados a menudo sufren cierto grado de retraso mental. El tratamiento con éxito generalmente consiste en la colocación de una **derivación,** un tubo que evita el lugar del bloqueo o drena el exceso de líquido cefalorraquídeo. En cualquier caso, el objetivo es la reducción de la presión intracraneal. La derivación puede extraerse si: 1) el crecimiento posterior del encéfalo elimina el bloqueo, o 2) la presión intracraneal disminuye tras el desarrollo de las granulaciones aracnoideas a los 3 años de edad.

Figura 15.8 Hidrocefalia
Este lactante tiene hidrocefalia grave, un trastorno generalmente causado por una alteración de la circulación y eliminación del líquido cefalorraquídeo. La acumulación de LCR conduce a una distorsión del encéfalo y a un aumento de tamaño del cráneo.

izquierdo controla el lado derecho, y el hemisferio derecho controla el lado izquierdo. El significado funcional de este cruzamiento no se conoce.

2. *Los dos hemisferios tienen algunas diferencias funcionales aunque anatómicamente parezcan ser idénticos*. Estas diferencias afectan fundamentalmente a las funciones superiores, un tema que se tratará en el capítulo 16.
3. *La asignación de una función específica a una región específica de la corteza cerebral es imprecisa*. Puesto que los límites no son diferenciados y existe un solapamiento considerable, una región cualquiera puede tener varias funciones diferentes. Algunos aspectos de la función cortical, como la conciencia, no pueden asignarse fácilmente a una única región.

Nuestra comprensión de la función cerebral aún es incompleta y no toda estructura anatómica tiene una función conocida. Sin embargo, a partir de los estudios de la actividad metabólica y el flujo sanguíneo está claro que en un individuo normal se utilizan todas las porciones del cerebro.

Áreas motoras y sensitivas de la corteza cerebral [v. figura 15.9b y tabla 15.2]

Los procesos de pensamiento consciente y todas las funciones intelectuales se originan en los hemisferios cerebrales. Sin embargo, gran parte del cerebro está implicado en el procesamiento de la información sensitiva y motora somática. Las principales regiones motoras y sensitivas de la corteza cerebral se detallan en la **figura 15.9b** y la tabla 15.2. El surco central separa las porciones motora y sensitiva de la corteza. La **circunvolución precentral** del lóbulo frontal forma el margen anterior del surco central. La superficie de esta circunvolución es la **corteza motora primaria.** Las neuronas de la corteza motora primaria dirigen los movimientos voluntarios controlando las neuronas motoras somáticas del tronco del encéfalo y la médula espinal. Las neuronas de la corteza motora primaria se denominan **células piramidales,** y la vía que proporciona el control motor voluntario se conoce como **vía corticoespinal** o *sistema piramidal*, que se tratará posteriormente en el capítulo 16.

La **circunvolución poscentral** del lóbulo parietal forma el margen posterior del surco central, y su superficie contiene la **corteza sensitiva primaria.** Las neuronas de esta región reciben la información sensitiva somática de los receptores del tacto, la presión, el dolor, el gusto y la temperatura. Nosotros somos conscientes de estas sensaciones porque la información sensitiva se ha transmitido a la corteza sensitiva primaria. Al mismo tiempo, las colaterales llevan la información a los núcleos basales y a otros centros. Como resultado, la información sensitiva se controla a nivel tanto consciente como inconsciente.

La información sensitiva relacionada con los sentidos de la vista, el oído y el olfato llega a otras porciones de la corteza cerebral. La **corteza visual** del

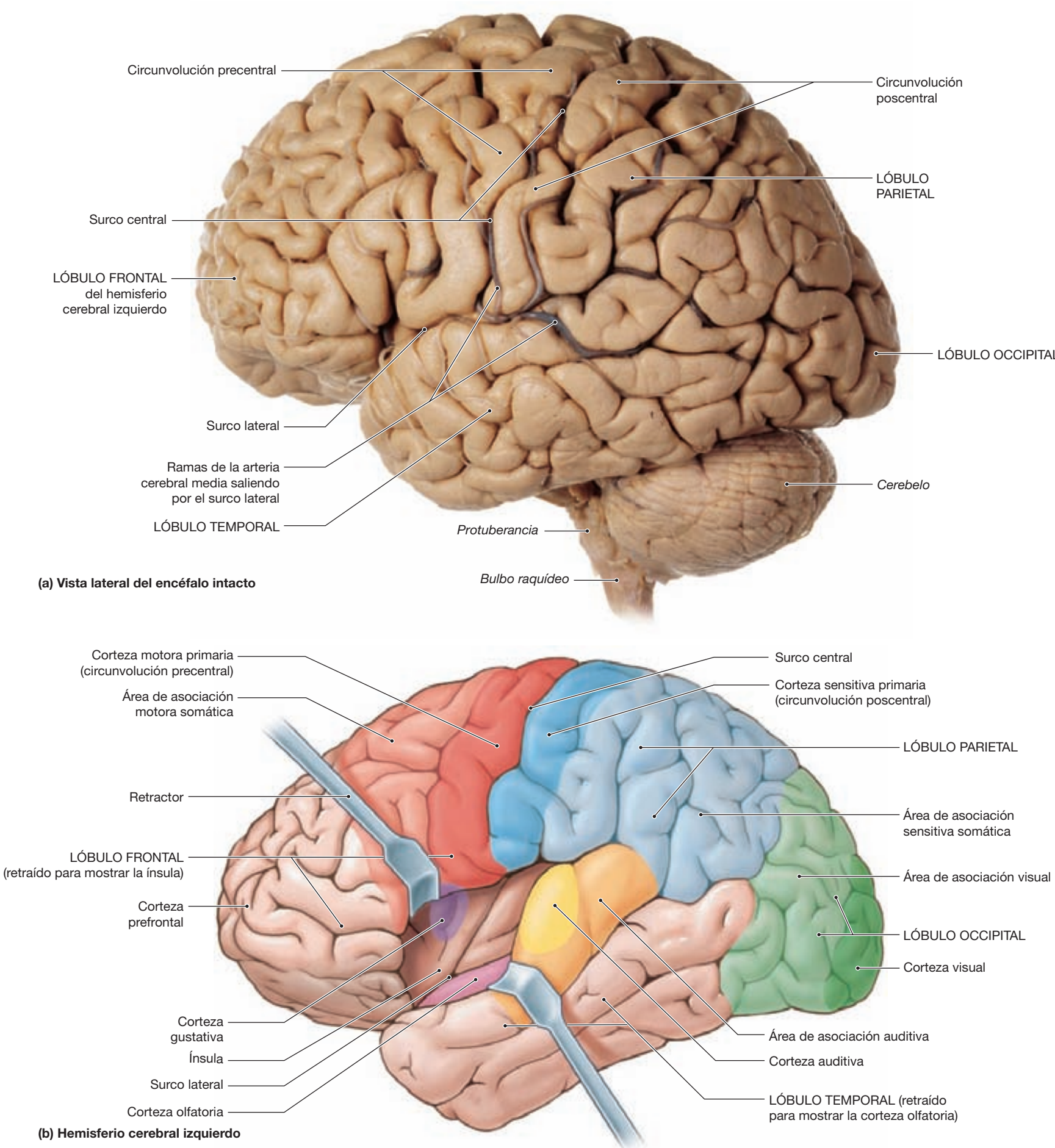


Figura 15.9 Hemisferios cerebrales, parte II

Lóbulos y regiones funcionales. **(a)** Vista lateral del encéfalo intacto después de extraer la duramadre y la aracnoides, que muestra la anatomía de superficie del hemisferio izquierdo. **(b)** Referencias anatómicas principales en la superficie del hemisferio cerebral izquierdo. Las áreas de asociación están coloreadas. Para exponer la ínsula se ha abierto el surco lateral.

lóbulo occipital recibe la información visual, y la **corteza auditiva** y la **corteza olfatoria** del lóbulo temporal reciben la información relacionada con la audición y el olfato, respectivamente. La **corteza gustativa** se sitúa en la porción anterior de la ínsula y las porciones adyacentes del lóbulo frontal. Esta región recibe información de los receptores gustativos de la lengua y la faringe. Las regiones de la corteza cerebral implicadas en la información sensitiva especial se muestran en la figura 15.9b.

Áreas de asociación [v. figura 15.9b]

Cada una de las regiones sensitivas y motoras de la corteza están conectadas a un **área de asociación** cercana (v. figura 15.9b). El término área de asociación se utiliza para las regiones del cerebro implicadas en la integración de la información sensitiva o motora. Estas áreas no reciben información sensitiva directamente, ni generan órdenes motoras. En su lugar, interpretan los impulsos sensitivos que llegan de otros lugares de la corteza cerebral y planifican, preparan y ayudan a coordinar los impulsos motores. Por ejemplo, el **área de asociación sensitiva somática** permite comprender el tamaño, forma y textura de un objeto, y el **área de asociación motora somática,** o *corteza premotora,* utiliza el recuerdo de los patrones de movimiento aprendidos para coordinar las actividades motoras.

Las diferencias funcionales entre las áreas de asociación sensitivas y motoras son más evidentes después de una lesión cerebral localizada. Por ejemplo, un individuo con un **área de asociación visual** dañada puede ver las letras bastante claramente pero ser incapaz de reconocerlas o interpretarlas. Esta persona recorrería con la vista las líneas de una página impresa y vería filas de símbolos claros que no tendrían significado. Alguien con una lesión en el área de la corteza premotora relacionada con la coordinación de los movimientos oculares puede entender las letras y palabras escritas pero no puede leer porque sus ojos no pueden seguir las líneas en una página impresa.

Centros de integración [v. figura 15.9b]

Los centros de integración reciben y procesan la información de muchas áreas de asociación diferentes. Estas regiones dirigen actividades motoras extremadamente complejas y llevan a cabo funciones analíticas complicadas. Por ejemplo, la **corteza prefrontal** del lóbulo frontal (v. figura 15.9b) integra la información de las áreas de asociación sensitivas y lleva a cabo funciones intelectuales abstractas, como predecir las consecuencias de las posibles respuestas.

Estos lóbulos y áreas corticales se encuentran en ambos hemisferios cerebrales. Los centros de integración superiores relacionados con procesos complejos, como el habla, la escritura, el cálculo matemático y la comprensión de las relaciones espaciales, están limitados al hemisferio izquierdo o derecho. Estos centros y sus funciones se describen en el capítulo 16.

Sustancia blanca central [v. figura 15.10 y tabla 15.3]

La **sustancia blanca central** está cubierta por la sustancia gris de la corteza cerebral (v. figura 15.10). Contiene fibras mielinizadas que forman haces que

TABLA 15.3 Sustancia blanca del cerebro

Fibras/tractos	Funciones
Fibras de asociación	Interconectan áreas corticales del mismo hemisferio
Fibras arciformes	Interconectan las circunvoluciones de un lóbulo
Fascículos longitudinales	Interconectan el lóbulo frontal con otros lóbulos cerebrales
Fibras comisurales (comisura anterior y cuerpo calloso)	Interconectan los lóbulos correspondientes de diferentes hemisferios
Fibras de proyección	Conectan la corteza cerebral con el diencéfalo, el tronco del encéfalo, el cerebelo y la médula espinal

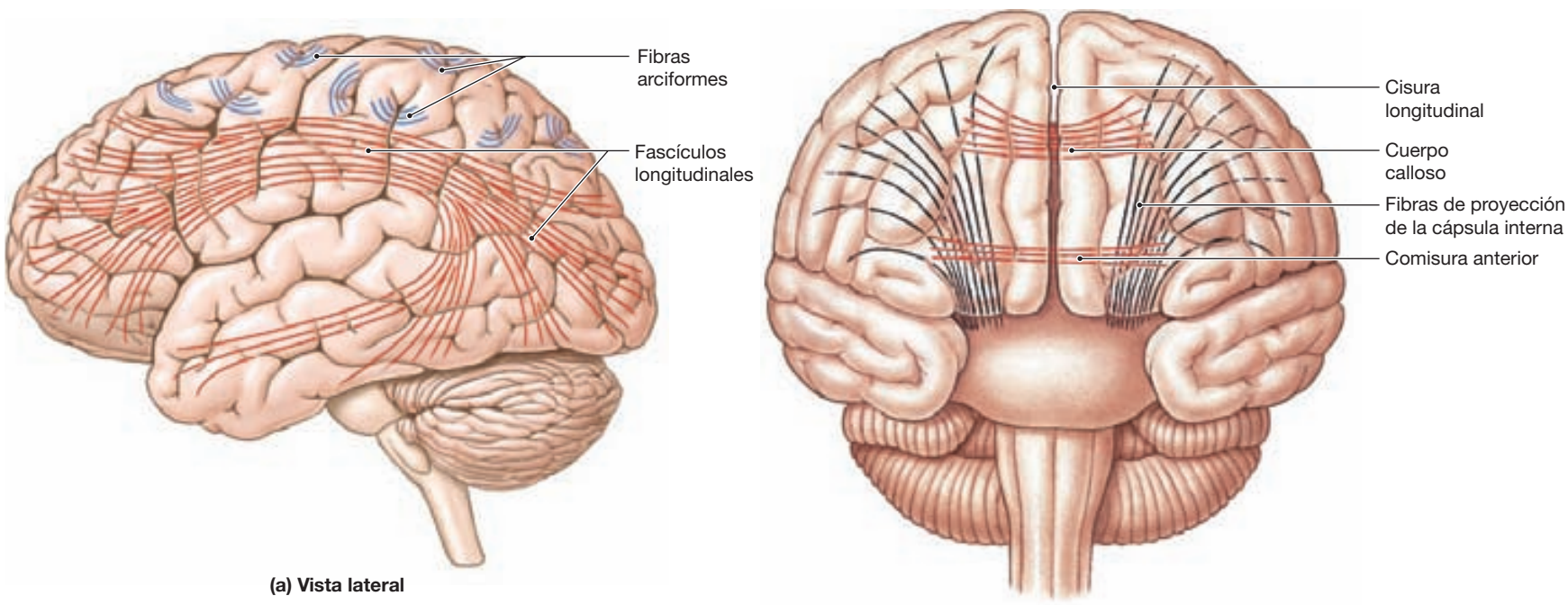


Figura 15.10 Sustancia blanca central
Se muestran los principales grupos de fibras y tractos de axones de la sustancia blanca central. **(a)** Cara lateral del encéfalo que muestra las fibras arciformes y los fascículos longitudinales. **(b)** Vista anterior del encéfalo que muestra la orientación de las fibras comisurales y de proyección.

se extienden desde un área cortical a otra o que conectan áreas de la corteza con otras regiones del encéfalo. Estos haces incluyen:

1. *Fibras de asociación,* tractos que interconectan áreas de la corteza nerviosa de un mismo hemisferio cerebral.
2. *Fibras comisurales,* tractos que conectan los dos hemisferios cerebrales.
3. *Fibras de proyección,* tractos que relacionan el cerebro con otras regiones del encéfalo y la médula espinal. Los nombres y funciones de estos grupos se resumen en la tabla 15.3.

Las **fibras de asociación** interconectan porciones de la corteza cerebral en el mismo hemisferio cerebral. Las fibras de asociación más cortas se denominan **fibras arciformes** *(arcuatas)* porque se curvan en arco para pasar desde una circunvolución a otra. Las fibras de asociación más largas se organizan en haces separados. Los **fascículos longitudinales** conectan el lóbulo frontal con los otros lóbulos del mismo hemisferio.

Una densa banda de **fibras comisurales** (*commissura*, cruzamiento) permite la comunicación entre los dos hemisferios. Los haces comisurales prominentes que conectan los hemisferios cerebrales incluyen el **cuerpo calloso** y la **comisura anterior.**

Las **fibras de proyección** conectan la corteza cerebral con el diencéfalo, el tronco del encéfalo, el cerebelo y la médula espinal. Todos los axones ascendentes y descendentes deben atravesar el diencéfalo en su camino hacia o desde las áreas sensitivas, motoras o de asociación de la corteza cerebral. En la disección macroscópica las fibras aferentes y eferentes parecen similares y toda esta colección de fibras se conoce como **cápsula interna.**

Núcleos basales [v. figura 15.11 y tabla 15.4]

Los **núcleos basales** son masas pares de sustancia gris que se encuentran en el interior de los hemisferios cerebrales[2]. Estos núcleos se sitúan en cada hemisferio inferiores al suelo del ventrículo lateral (v. figura 15.11). Están englobados en la sustancia blanca central, y la irradiación de las fibras de proyección y las fibras comisurales viajan alrededor de estos núcleos o entre ellos.

El **núcleo caudado** tiene una gran cabeza y una cola delgada y curva que sigue la curva del ventrículo lateral. En la punta de la cola hay un núcleo diferente, el **cuerpo amigdalino** (*amygdale,* almendra). Entre la superficie abultada de la ínsula y la pared lateral del diencéfalo se sitúan tres masas de sustancia gris. Estas son el **claustro** *(claustrum),* el **putamen** y el **globo pálido.**

Para designar las subdivisiones anatómicas o funcionales específicas de los núcleos basales se utilizan varios términos adicionales. El putamen y el globo pálido a menudo se consideran subdivisiones de un **núcleo lenticular** o **lentiforme** (forma de lente) más grande, porque cuando se exponen en la disección macroscópica forman una masa redondeada bastante compacta (v. figura 15.11b,c,d). En ocasiones se utiliza el término *cuerpo estriado* para referirse a los núcleos caudado *y* lenticular o al núcleo caudado y al putamen. La tabla 15.4 resume estas relaciones y las funciones de los ganglios basales.

Funciones de los núcleos basales

Los ganglios basales están implicados en: 1) el control e integración subconscientes del tono muscular esquelético; 2) la coordinación de los patrones de movimiento aprendidos, y 3) el procesamiento, integración y transmisión de la información de la corteza cerebral al tálamo.

En condiciones normales, estos núcleos no inician movimientos particulares. Pero una vez que el movimiento está en marcha, los núcleos basales proporcionan el patrón y el ritmo general, especialmente para los movimientos del tronco y los músculos proximales de los miembros. (Este sistema se tratará posteriormente en el capítulo 16.) A continuación se detallan algunas funciones asignadas a ganglios basales específicos.

[2] También se han denominado núcleos cerebrales o ganglios basales.

TABLA 15.4 Núcleos basales

Núcleos	Funciones
Cuerpo amigdalino	Componente del sistema límbico
Claustro	Tiene una función en el procesamiento subconsciente de la información visual
Núcleo caudado	Ajuste y modificación subconsciente de las órdenes motoras voluntarias
Núcleo lenticular (putamen y globo pálido)	

Núcleo caudado y putamen Cuando una persona está caminando, el núcleo caudado y el putamen controlan los ciclos de movimientos del brazo y la pierna que tienen lugar entre el momento en el cual se toma la decisión de «empezar a andar» y el momento en cual se da la orden de «detenerse».

Claustro y cuerpo amigdalino El claustro parece estar implicado en el procesamiento de la información visual a nivel subconsciente. Las pruebas sugieren que centra la atención en patrones específicos o características relevantes. El cuerpo amigdalino es un componente importante del *sistema límbico* y se considerará en el siguiente apartado. Las funciones de otros ganglios basales son poco conocidas.

Globo pálido El globo pálido controla y ajusta el tono muscular, particularmente en los músculos apendiculares, para establecer la posición corporal en preparación para un movimiento voluntario. Por ejemplo, cuando se decide coger un objeto, el globo pálido coloca el hombro y estabiliza el brazo al tiempo que conscientemente se alcanza y agarra con el antebrazo, la muñeca y la mano.

Sistema límbico

[v. figuras 15.11/15.12/15.15 y tabla 15.5]

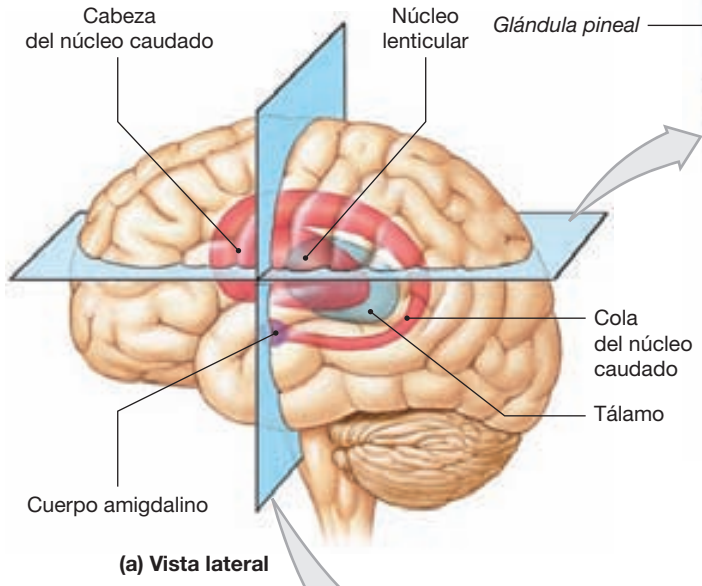
El **sistema límbico** (*limbus*, límite) incluye núcleos y tractos a lo largo del límite entre el cerebro y el diencéfalo. Las funciones del sistema límbico incluyen: 1) establecer los estados emocionales y los impulsos conductuales relacionados; 2) conectar las funciones intelectuales conscientes de la corteza cerebral con las funciones inconscientes y autónomas de otras porciones del encéfalo, y 3) facilitar el almacenamiento y recuperación de la memoria. Este sistema es una agrupación funcional más que un solo grupo anatómico, y el sistema límbico incluye componentes del cerebro, el diencéfalo y el mesencéfalo (v. tabla 15.5).

El cuerpo amigdalino (v. figuras 15.11a,d y 15.12) parece actuar como un centro de integración entre el sistema límbico, el cerebro y varios sistemas sensitivos. El **lóbulo límbico** del hemisferio cerebral consta de las circunvoluciones y estructuras más profundas que están adyacentes al diencéfalo. La **circunvolución del cíngulo** (*cingulum*, faja o cinturón) se asienta superior al cuerpo calloso. La **circunvolución dentada** y la **circunvolución del parahipocampo** adyacente ocultan un núcleo subyacente, el **hipocampo,** que se sitúa profundo en el lóbulo temporal (v. figuras 15.11b y 15.12a,b). Los primeros anatomistas pensaron que este núcleo recordaba a un caballito de mar *(hippocampus);* tiene un papel esencial en el aprendizaje y el almacenamiento de los recuerdos a largo plazo.

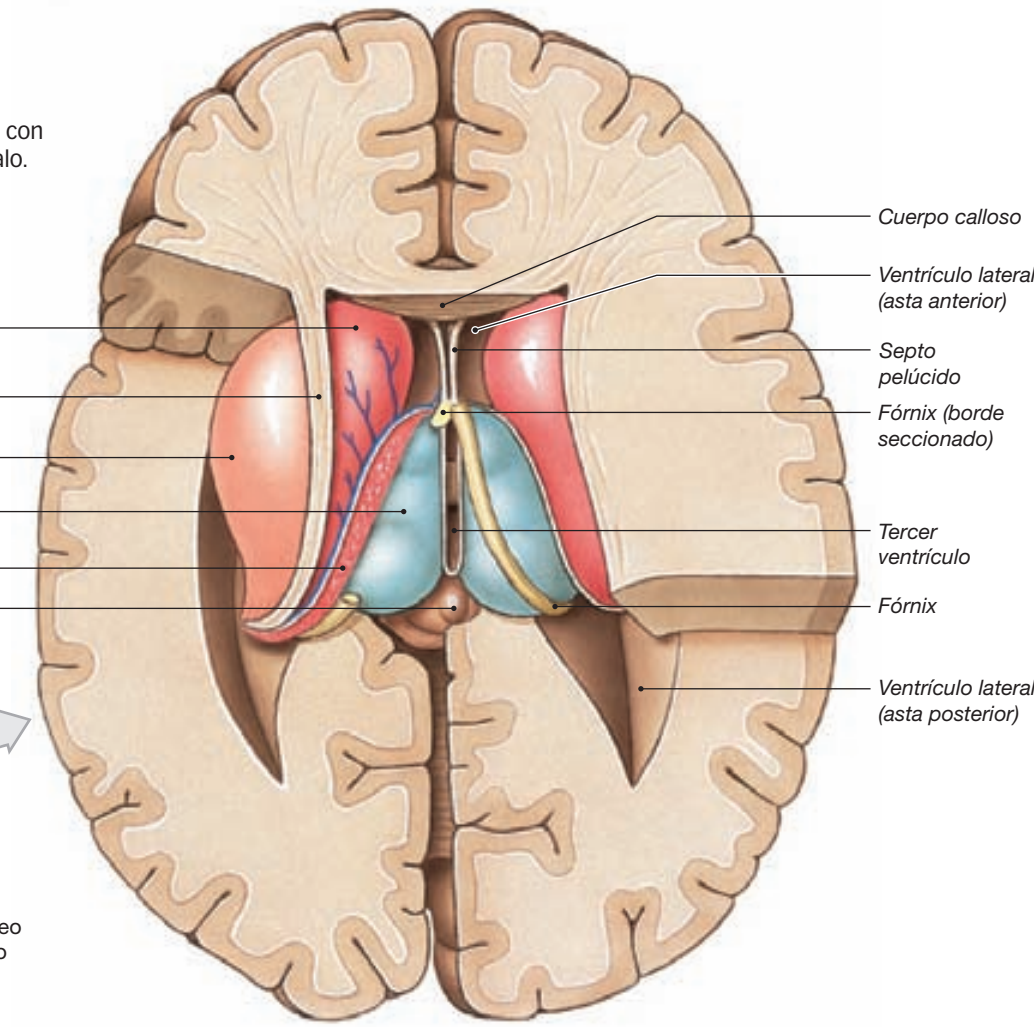
El **fórnix** (arco) (v. figura 15.15) es un tracto de sustancia blanca que conecta el hipocampo con el hipotálamo. Desde el hipocampo, el fórnix se curva medial y superiormente, inferior al cuerpo calloso, y después forma un arco que se curva anteriormente, terminando en el hipotálamo. Muchas de las fibras terminan en los **cuerpos mamilares** (*mamilla* o *mammilla*, mama), unos núcleos prominentes en el suelo del hipotálamo. Los cuerpos mamilares

Figura 15.11 Núcleos basales

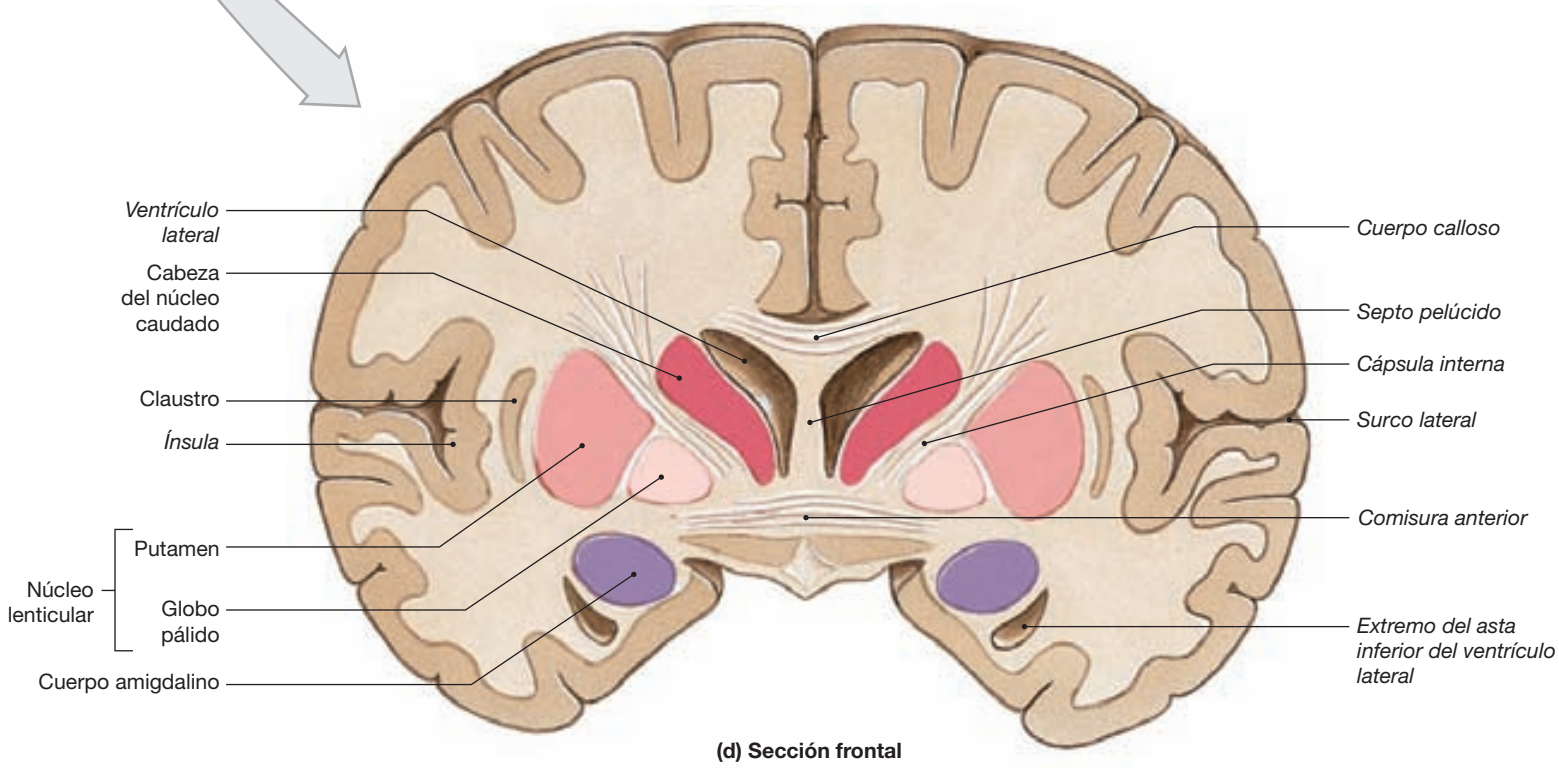
(a) Vista lateral que muestra la posición relativa de los núcleos basales. **(b)** Vista esquemática del encéfalo diseccionado para mostrar la orientación de las estructuras cerebrales y talámicas. Comparar la representación tridimensional que se observa en (a) con la sección horizontal **(c)** y las secciones frontales **(d,e)** del encéfalo.



(a) Vista lateral

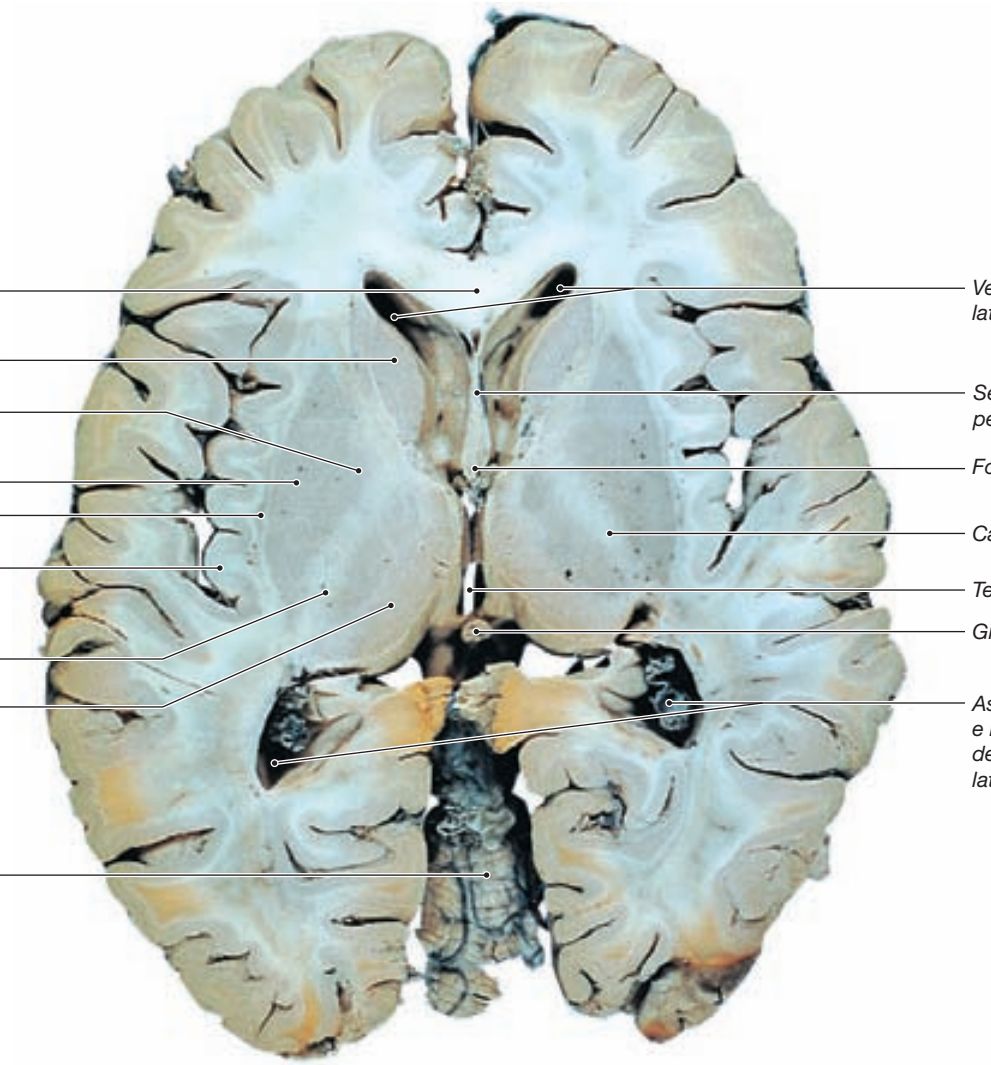


(b) Sección horizontal, diseccionada

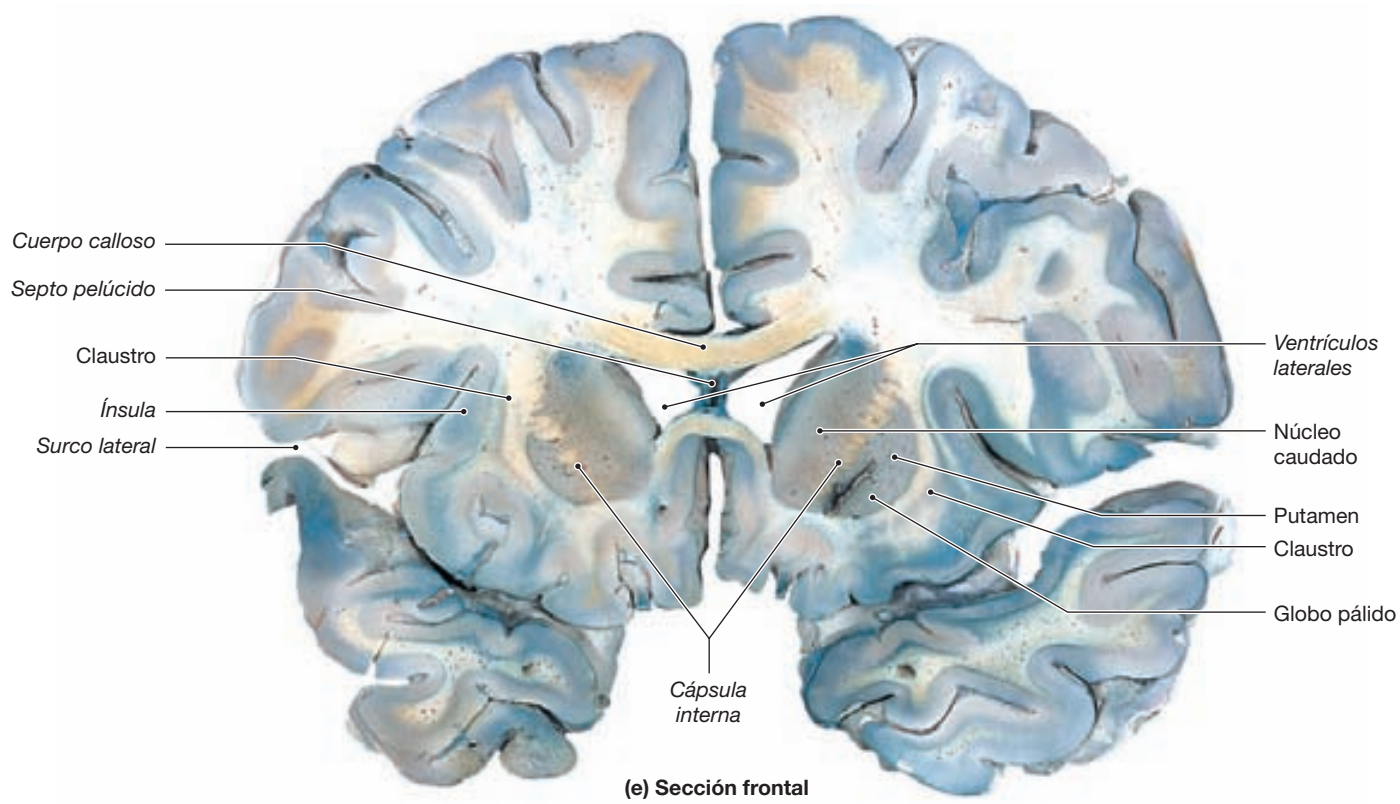


(d) Sección frontal

Figura 15.11 ***(cont.)***



(c) Sección horizontal



(e) Sección frontal

TABLA 15.5 Sistema límbico

FUNCIONES	Procesamiento de los recuerdos, creación de los estados emocionales, los impulsos y las conductas asociadas
COMPONENTES CEREBRALES	
Áreas corticales	Lóbulo límbico (circunvolución del cíngulo, circunvolución dentada y circunvolución del parahipocampo)
Núcleos	Hipocampo, cuerpo amigdalino
Tractos	Fórnix
COMPONENTES DIENCEFÁLICOS	
Tálamo	Grupo nuclear anterior
Hipotálamo	Centros relacionados con las emociones, apetitos (sed, hambre) y conductas relacionadas (*v. tabla 15.7*)
OTROS COMPONENTES	
Formación reticular	Red de núcleos interconectados en todo el tronco del encéfalo

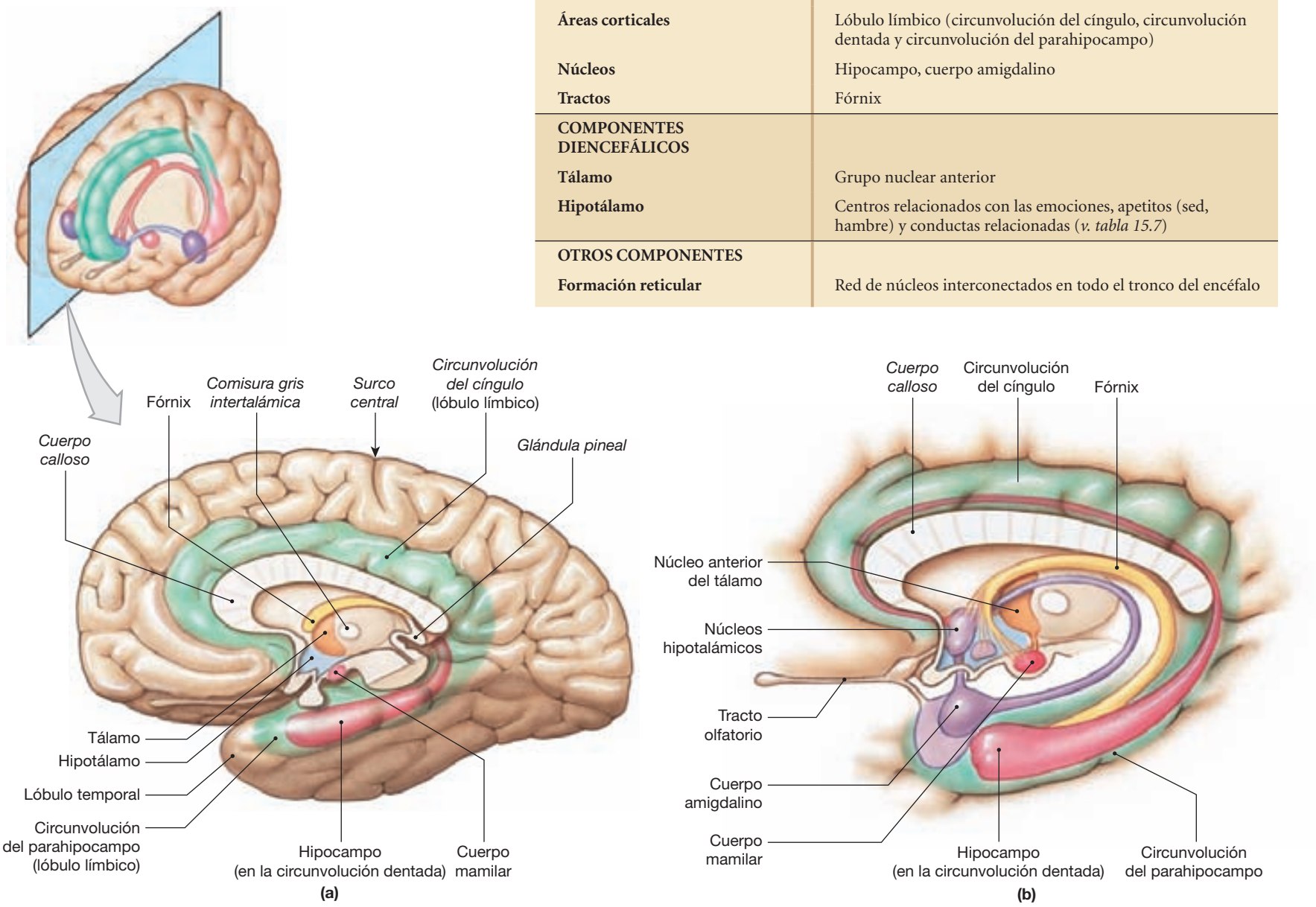


Figura 15.12 Sistema límbico
(a) Sección sagital a través del cerebro, mostrando las áreas corticales asociadas al sistema límbico. Las circunvoluciones del parahipocampo y dentada se muestran como si fueran transparentes de modo que puedan observarse los componentes límbicos más profundos. **(b)** Detalles adicionales relacionados con la estructura tridimensional del sistema límbico.

contienen núcleos motores que controlan movimientos reflejos asociados con la alimentación, como masticar, lamer y deglutir.

Varios núcleos más de la pared (tálamo) y el suelo (hipotálamo) del diencéfalo son componentes del sistema límbico. Entre otras funciones, el **núcleo anterior** del tálamo transmite la sensibilidad visceral desde el hipotálamo hasta la circunvolución del cíngulo. La estimulación experimental del hipotálamo ha localizado varios centros importantes responsables de las emociones de ira, temor, dolor, excitación sexual y placer.

La estimulación del hipotálamo también puede producir una intensificación del estado de alerta y una excitación generalizada. Esta respuesta está causada por la estimulación diseminada de la **formación reticular,** una red interconectada de núcleos del tronco del encéfalo cuyos núcleos dominantes se sitúan en el mesencéfalo. La estimulación de las porciones adyacentes del hipotálamo o el tálamo deprimirá la actividad reticular, dando lugar a letargia generalizada o sueño real.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Cada hemisferio cerebral se subdivide en lóbulos. Identifique los lóbulos y sus funciones generales.
2. ¿Qué son las circunvoluciones y los surcos?
3. Enumere y describa los tres grupos principales de axones de la sustancia blanca central.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Diencéfalo [v. figuras 15.1/15.11b,c/15.12/15.15/15.16]

El diencéfalo conecta los hemisferios cerebrales con el tronco del encéfalo. Consta del *epitálamo*, el *tálamo* izquierdo y derecho, y el *hipotálamo*. Las **figuras 15.1, 15.11b,c, 15.12** y **15.15** muestran la posición del diencéfalo y su relación con otras referencias del encéfalo.

Epitálamo [v. figura 15.15a]

El *epitálamo* es el techo del tercer ventrículo (**v. figura 15.15a**). Su porción anterior membranosa contiene un área extensa de plexo coroideo que se extiende a través de los agujeros interventriculares hasta los ventrículos laterales. La porción posterior del epitálamo contiene la **glándula pineal,** una estructura endocrina que secreta la hormona **melatonina.** La melatonina está implicada en la regulación de los ciclos día-noche, con posibles efectos secundarios sobre la función reproductora. (El papel de la melatonina se describirá en el capítulo 19.)

Tálamo [v. figuras 15.11b/15.12/15.13/15.15]

La mayor parte del tejido nervioso del diencéfalo se concentra en el tálamo izquierdo y el tálamo derecho. Estos dos cuerpos en forma de huevo forman las paredes del diencéfalo y rodean el tercer ventrículo (**v. figuras 15.11b** y **15.15**). Los núcleos talámicos proporcionan los centros de intercambio y transmisión de las vías sensitivas y motoras. La información sensitiva ascendente de la médula espinal (aparte de la información de los tractos espinocerebelosos) y los nervios craneales (aparte del nervio olfativo) se procesa en los núcleos talámicos antes de transmitir la información al cerebro o al tronco del encéfalo. El tálamo es por tanto el punto de relevo final para la información sensitiva ascendente que se proyectará hacia la corteza sensitiva primaria. Actúa como un filtro de la información, pasando sólo una pequeña porción de la información sensitiva que llega. El tálamo sólo actúa como una estación de relevo que coordina las actividades motoras a nivel consciente y subconsciente.

Los dos tálamos están separados por el tercer ventrículo. Visto en una sección mediosagital, el tálamo se extiende desde la comisura anterior hasta la base inferior de la glándula pineal (**v. figura 15.15a**). Una proyección medial de la sustancia gris, la **comisura gris intertalámica,** o *masa intermedia*, se extiende hacia el interior del ventrículo desde el tálamo a cada lado (**v. figura 15.12a**). En cerca del 70% de la población, las dos masas intermedias se fusionan en la línea media interconectando los dos tálamos.

El tálamo de cada lado forma una protrusión lateralmente hacia fuera del tercer ventrículo y anteriormente hacia el cerebro (**v. figuras 15.11b,c, 15.12,**

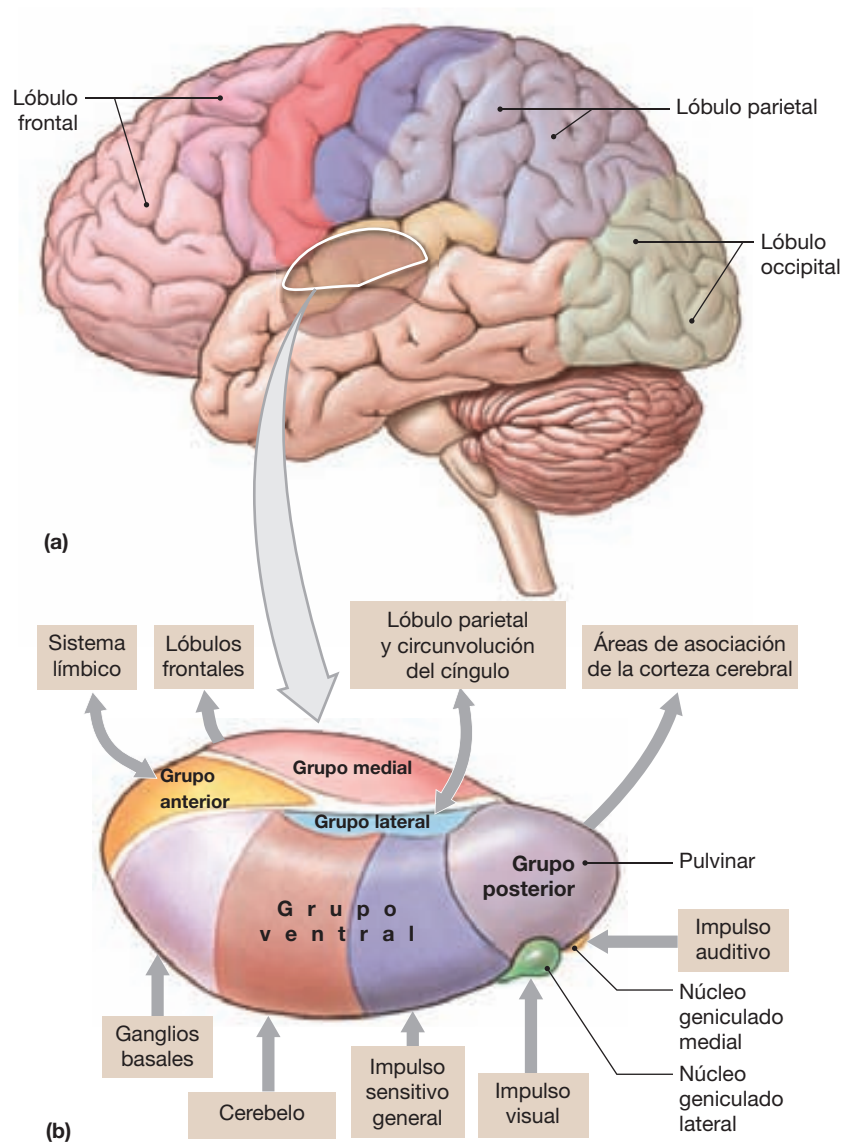


Figura 15.13 Tálamo
(a) Vista lateral del encéfalo que muestra la posición de las principales estructuras talámicas. También se indican las áreas funcionales de la corteza cerebral, correspondiéndose los colores con los de los núcleos talámicos asociados. **(b)** Vista en aumento de los núcleos talámicos del lado izquierdo. El color de cada núcleo o grupo de núcleos se corresponde con el color de la región cortical asociada. Los recuadros muestran ejemplos de los tipos de impulsos sensitivos transmitidos a los núcleos basales y la corteza cerebral o indican la existencia de circuitos de retroalimentación importantes implicados en los estados emocionales, el aprendizaje y la memoria.

TABLA 15.6 Tálamo

Estructura/núcleos	Funciones
GRUPO ANTERIOR	Parte del sistema límbico
GRUPO MEDIAL	Integra la información sensitiva y otros datos que llegan al tálamo e hipotálamo para su proyección a los lóbulos frontales de los hemisferios cerebrales
GRUPO VENTRAL	Proyecta la información sensitiva a la corteza sensitiva primaria del lóbulo parietal; transmite la información desde el cerebelo y los ganglios basales hasta las áreas motoras de la corteza cerebral
GRUPO POSTERIOR	
Pulvinar	Integra la información sensitiva para su proyección a las áreas de asociación de la corteza cerebral
Núcleos geniculados laterales	Proyectan la información visual a la corteza visual del lóbulo occipital
Núcleos geniculados mediales	Proyectan la información auditiva a la corteza auditiva del lóbulo temporal
GRUPO LATERAL	Forma circuitos de retroalimentación que incluyen la circunvolución del cíngulo (estados emocionales) y el lóbulo parietal (integración de la información sensitiva)

15.14 y 15.15b). El borde lateral de cada tálamo se establece por las fibras de la cápsula interna. En cada tálamo se aloja una masa redondeada compuesta por varios *núcleos talámicos* interconectados.

Funciones de los núcleos talámicos [v. figura 15.13 y tabla 15.6]

Los núcleos talámicos están relacionados fundamentalmente con la transmisión de la información sensitiva a los ganglios basales y la corteza cerebral. Los cinco grupos principales de núcleos talámicos, que se detallan en la figura 15.13 y la tabla 15.6, son: 1) el *grupo anterior*; 2) el *grupo medial*; 3) el *grupo ventral*; 4) el *grupo posterior,* y 5) el *grupo lateral*.

1. Los **núcleos anteriores** son parte del sistema límbico y tienen un papel en las emociones, la memoria y el aprendizaje. Transmiten información desde el hipotálamo y el hipocampo hasta la circunvolución del cíngulo.
2. Los **núcleos mediales** proporcionan conciencia de los estados emocionales conectando los ganglios basales y los centros emocionales del hipotálamo con la corteza prefrontal del cerebro. Estos núcleos también integran la información sensitiva que llega a otras porciones del tálamo para transmitirla hacia los lóbulos frontales.
3. Los **núcleos ventrales** transmiten información hasta y desde los ganglios basales y la corteza cerebral. Dos de los núcleos *(ventral anterior y ventral lateral)* transmiten la información relacionada con las órdenes motoras somáticas desde los ganglios basales y el cerebelo hasta la corteza motora primaria y la corteza premotora. Forman parte de un circuito de retroalimentación que ayuda a planificar un movimiento y después lo ajusta de forma fina. Los *núcleos ventrales posteriores* transmiten la información sensitiva relacionada con el tacto, la presión, el dolor, la temperatura y la propiocepción desde la médula espinal y el tronco del encéfalo hasta la corteza sensitiva primaria del lóbulo parietal.
4. Los **núcleos posteriores** incluyen los núcleos *pulvinar* y *geniculado*. El **pulvinar** integra la información sensitiva para su proyección a las áreas de asociación de la corteza cerebral. El **núcleo geniculado** (*genicula*, pequeña rodilla) **lateral** de cada tálamo recibe la información visual de los ojos a través del tracto óptico. Las fibras eferentes se proyectan hacia la corteza visual y descienden al mesencéfalo. Los **núcleos geniculados mediales** transmiten la información auditiva a la corteza auditiva desde los receptores especializados del oído interno.
5. Los **núcleos laterales** son estaciones de relevo en circuitos de retroalimentación que ajustan la actividad de la circunvolución del cíngulo y el lóbulo parietal. Por tanto tienen un efecto sobre los estados emocionales y la integración de la información sensitiva.

Hipotálamo [v. figuras 15.14/15.15a]

El hipotálamo contiene los centros implicados en las emociones y los procesos viscerales que influyen en el cerebro así como en otros componentes del tronco del encéfalo. También controla una serie de funciones autónomas y constituye la unión entre los sistemas nervioso y endocrino. El hipotálamo, que forma el suelo del tercer ventrículo, se extiende desde el área superior al **quiasma óptico,** donde llegan al encéfalo los *tractos ópticos* desde los ojos, hasta los márgenes posteriores de los cuerpos mamilares (v. figura 15.14). (Los cuerpos mamilares se presentaron al tratar el sistema límbico en la p. 401.) Posteriormente al quiasma óptico, el **infundíbulo** (*infundibulum,* embudo) se extiende inferiormente conectando el hipotálamo con la hipófisis. En vida, el diafragma de la silla (p. 391) rodea el infundíbulo cuando entra en la fosa hipofisaria del esfenoides.

Visto en un corte mediosagital (v. figuras 15.14 y 15.15a), el suelo del hipotálamo entre el infundíbulo y los cuerpos mamilares es el **área tuberal** (*tuber*, tumefacción). El área tuberal contiene los núcleos relacionados con el control de la función de la hipófisis.

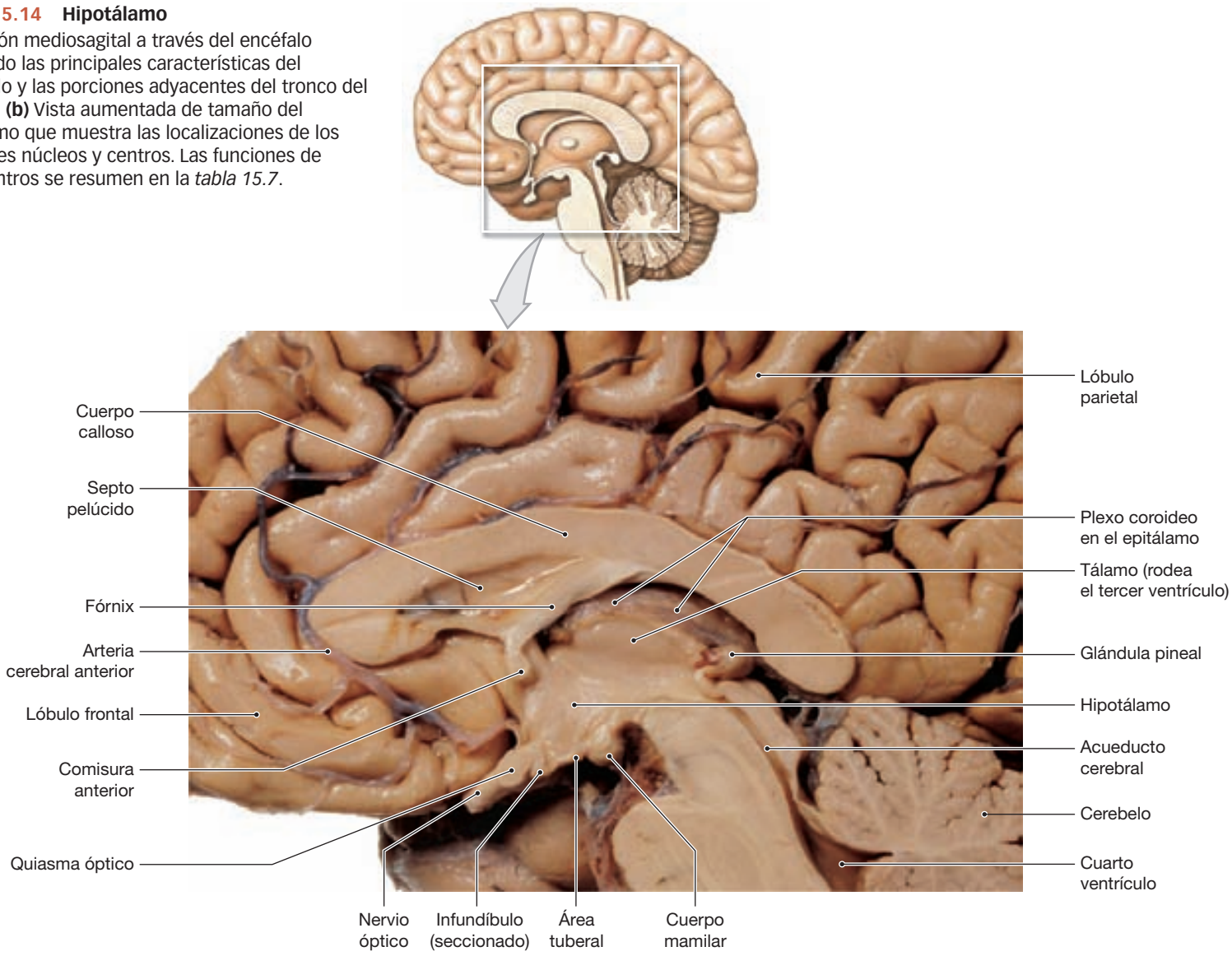
Funciones del hipotálamo [v. figura 15.14b y tabla 15.7]

El hipotálamo contiene una variedad de centros de control e integración importantes, además de los asociados al sistema límbico. Estos centros y sus funciones se resumen en la figura 15.14b y en la tabla 15.7. Los centros hipotalámicos están recibiendo continuamente información sensitiva del cerebro, el tronco del encéfalo y la médula espinal. Las neuronas hipotalámicas detectan y responden a los cambios en la composición del LCR y el líquido intersticial; también responden a estímulos en la sangre circulante debido a la elevada permeabilidad de los capilares de esta región. Las funciones hipotalámicas incluyen:

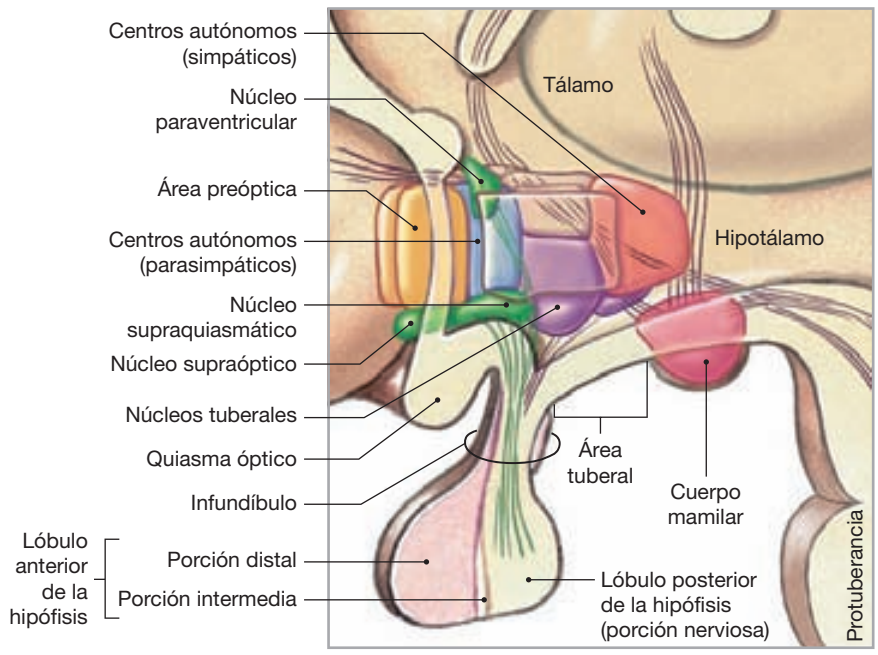
1. *Control subconsciente de las contracciones del músculo estriado:* mediante la estimulación de centros adecuados en otras porciones del encéfalo, los núcleos hipotalámicos dirigen los patrones motores somáticos asociados a las emociones de ira, placer, dolor y excitación sexual.
2. *Control de la función autónoma:* los centros hipotalámicos ajustan y coordinan las actividades de los centros autónomos de otras partes del tronco del encéfalo relacionados con la regulación de la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la respiración y las funciones digestivas.
3. *Coordinación de las actividades del sistema nervioso y endocrino:* gran parte del control regulador se ejerce a través de inhibición o estimulación de las células endocrinas de la hipófisis.
4. *Secreción de hormonas:* el hipotálamo secreta dos hormonas: 1) la *hormona antidiurética*, producida por el **núcleo supraóptico,** que restringe la pérdida de agua en los riñones, y 2) la *oxitocina*, producida por el **núcleo paraventricular,** que estimula las contracciones del músculo liso del útero y la glándula prostática y las contracciones de las células mioepiteliales de las glándulas mamarias. Ambas hormonas se transportan a lo largo de los axones por el infundíbulo para su liberación a la circulación en la porción posterior de la hipófisis.
5. *Producción de las emociones y los impulsos de la conducta:* centros hipotalámicos específicos producen sensaciones que conducen a cambios en los patrones de conducta voluntarios o involuntarios. Por ejemplo, la estimulación del **centro de la sed** produce el deseo de beber.
6. *Coordinación entre las funciones voluntarias y autónomas:* cuando nos enfrentamos a una situación de tensión, la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria aumentan y nuestro cuerpo se prepara para una emergencia. Estos ajustes autónomos se hacen porque las actividades cerebrales están controladas por el hipotálamo. El sistema nervioso autónomo (SNA) es una división del sistema nervioso periférico [p. 341]. El SNA consta de dos divisiones: 1) *simpática,* y 2) *parasimpática*. La división simpática estimula el metabolismo tisular, aumenta el estado de alerta y prepara el organismo para responder a una emergencia; la división parasimpática promueve las actividades sedentarias y conserva la energía corporal. Estas divisiones y sus relaciones se tratarán en el capítulo 17.
7. *Regulación de la temperatura corporal*: el **área preóptica** del hipotálamo controla las respuestas fisiológicas a los cambios de temperatura corporal. Al hacerlo, coordina las actividades de otros centros del SNC y regula otros sistemas fisiológicos.
8. *Control de los ritmos circadianos*: el **núcleo supraquiasmático** coordina los ciclos de actividad diarios que están ligados al ciclo día-noche. Este núcleo recibe aferencias directas de la retina del ojo y sus eferencias ajustan las actividades de otros núcleos hipotalámicos, la glándula pineal y la formación reticular.

Figura 15.14 Hipotálamo

(a) Sección mediosagital a través del encéfalo mostrando las principales características del diencéfalo y las porciones adyacentes del tronco del encéfalo. **(b)** Vista aumentada de tamaño del hipotálamo que muestra las localizaciones de los principales núcleos y centros. Las funciones de estos centros se resumen en la *tabla 15.7*.



(a) Sección mediosagital



(b) Hipotálamo

TABLA 15.7 Hipotálamo

Región/núcleo	Funciones
Hipotálamo en general	Controla funciones autónomas; establece los impulsos y conductas de los apetitos (sed, hambre, deseo sexual); establece los estados emocionales (con el sistema límbico); integración con el sistema endocrino *(v. capítulo 19)*
Núcleo supraóptico	Secreta hormona antidiurética, limitando la pérdida de agua en los riñones
Núcleo supraquiasmático	Regula los ritmos diarios (circadianos)
Núcleo paraventricular	Secreta oxitocina, estimulando las contracciones del músculo liso del útero y las glándulas mamarias
Área preóptica	Regula la temperatura corporal a través del control de los centros autónomos del bulbo raquídeo
Área tuberal	Produce hormonas inhibitorias y liberadoras que controlan las células endocrinas del lóbulo anterior de la hipófisis
Centros autónomos	Controlan la frecuencia cardíaca y la presión arterial a través de la regulación de los centros autónomos del bulbo raquídeo
Cuerpos mamilares	Controlan los reflejos alimentarios (lamer, deglutir, etc.)

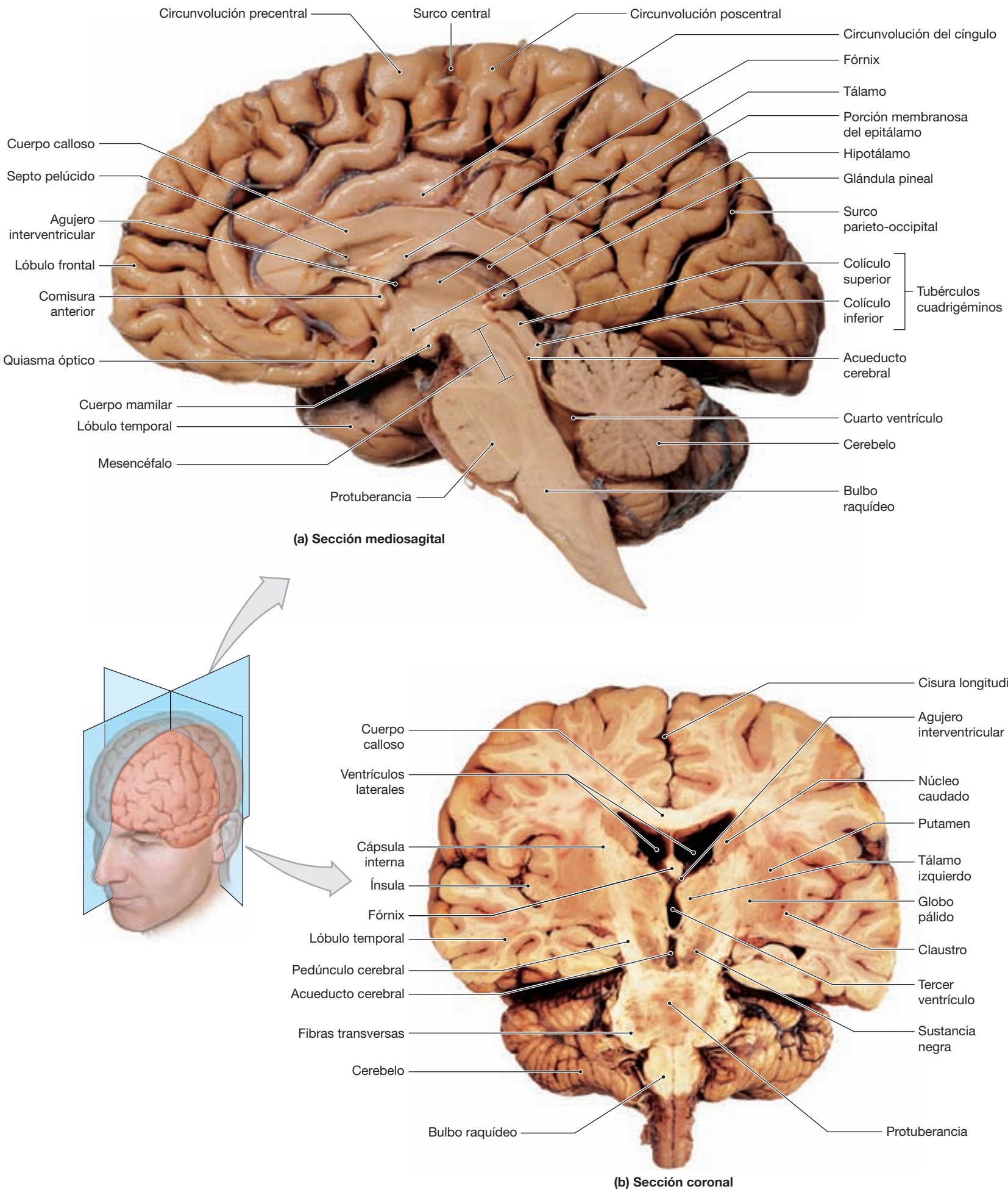
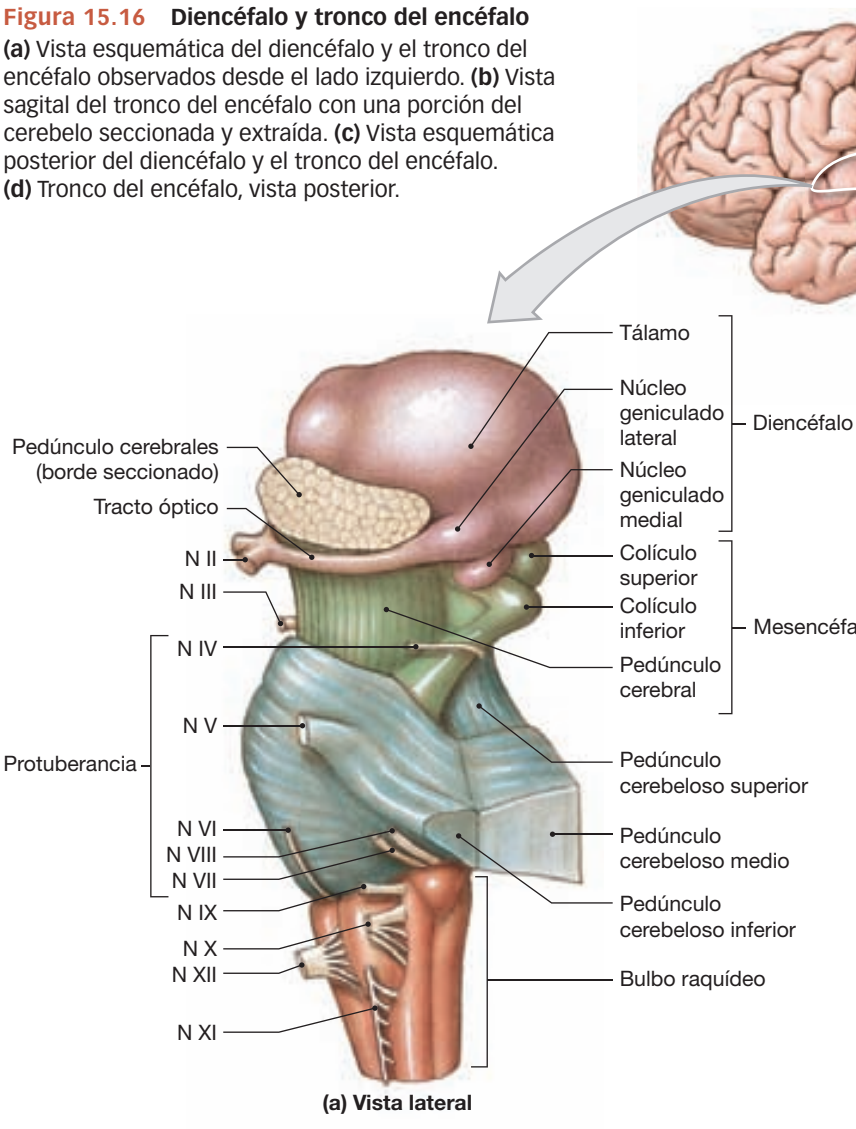
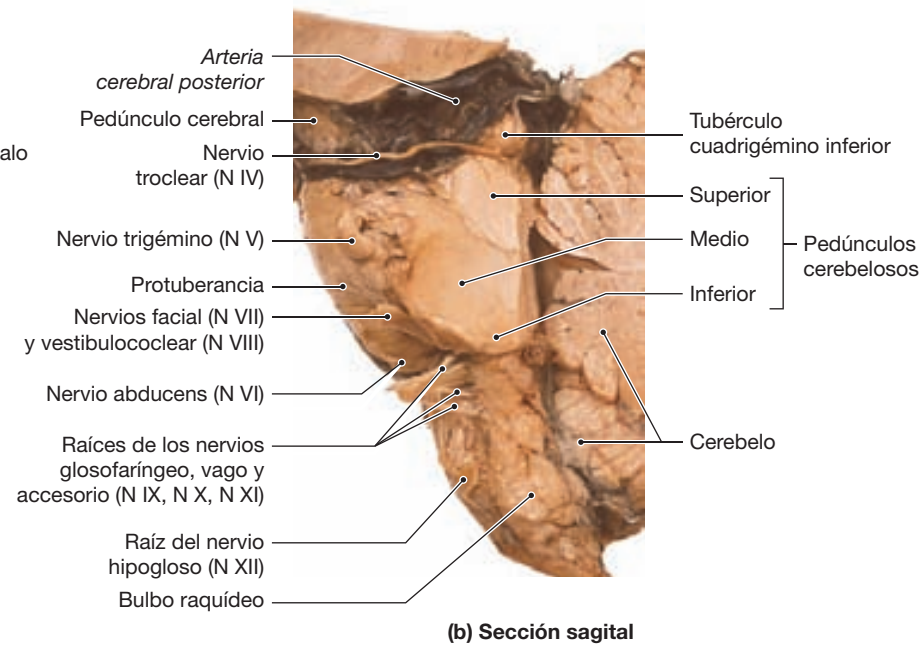


Figura 15.15 **Vistas en corte del encéfalo**
(a) Sección sagital a través del encéfalo. **(b)** Sección coronal a través del encéfalo.

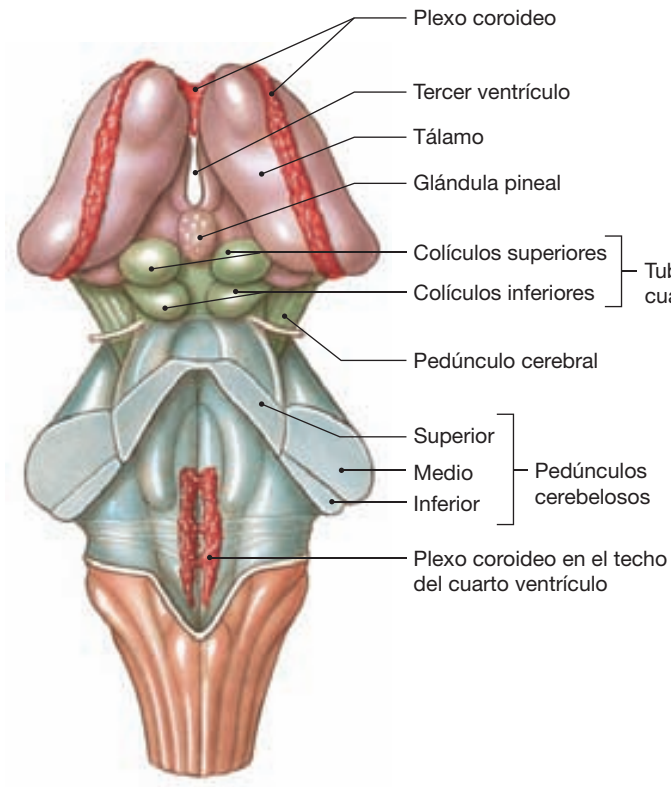
Figura 15.16 Diencéfalo y tronco del encéfalo
(a) Vista esquemática del diencéfalo y el tronco del encéfalo observados desde el lado izquierdo. **(b)** Vista sagital del tronco del encéfalo con una porción del cerebelo seccionada y extraída. **(c)** Vista esquemática posterior del diencéfalo y el tronco del encéfalo. **(d)** Tronco del encéfalo, vista posterior.



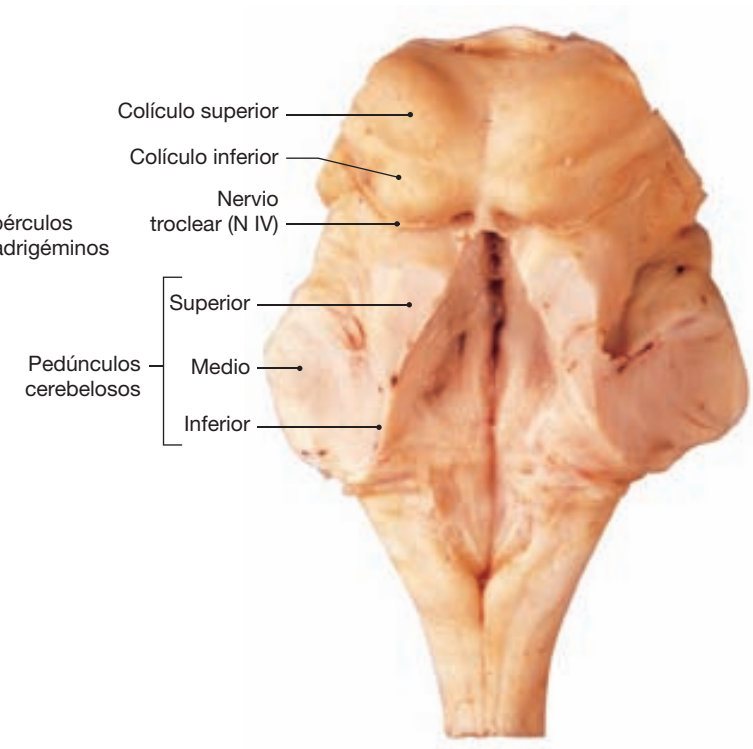
(a) Vista lateral



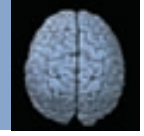
(b) Sección sagital



(c) Vista posterior



(d) Vista posterior



VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué área del diencéfalo se estimula por los cambios de temperatura corporal?
2. ¿Qué región del diencéfalo ayuda a coordinar las actividades motoras somáticas?
3. ¿Qué estructura endocrina del diencéfalo secreta melatonina?
4. ¿Qué hormonas son producidas por el hipotálamo y liberadas en la hipófisis?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Mesencéfalo [v. figuras 15.1/15.15/15.16/15.17 y tabla 15.8]

El mesencéfalo, o cerebro medio, contiene núcleos que procesan la información visual y auditiva y generan respuestas reflejas a estos estímulos. La anatomía externa del mesencéfalo puede observarse en la figura 15.16, y los principales núcleos se detallan en la figura 15.17 y la tabla 15.8. La superficie del cerebro medio posterior al acueducto cerebral se denomina el techo, o ***tectum,*** del mesencéfalo. Esta región contiene dos pares de núcleos sensitivos que se conocen en conjunto como **tubérculos cuadrigéminos.** Estos núcleos son estaciones de relevo relacionadas con el procesamiento de la sensibilidad visual y auditiva. Cada **colículo** (*colliculus,* pequeña colina) **superior** recibe impulsos del geniculado lateral del tálamo de ese lado. El **colículo inferior** recibe datos auditivos de los núcleos del bulbo raquídeo; parte de esta información puede enviarse al geniculado medial del mismo lado.

El mesencéfalo también contiene los núcleos principales de la formación reticular. Patrones de estimulación específicos en esta región pueden producir una variedad de respuestas motoras involuntarias. Cada lado del mesencéfalo contiene un par de núcleos, el *núcleo rojo* y la *sustancia negra* (v. figura 15.17). El **núcleo rojo** está irrigado por numerosos vasos sanguíneos, lo que le da una coloración rojiza. Este núcleo integra la información del cerebro y el cerebelo y emite órdenes motoras involuntarias relacionadas con el mantenimiento del tono muscular y la posición de los miembros. La **sustancia negra** se sitúa lateral al núcleo rojo. La sustancia gris de esta región contiene células muy pigmentadas, lo que le da un color negruzco. La sustancia negra tiene un importante papel en la regulación de las eferencias motoras de los ganglios basales.

Los haces de fibras nerviosas de las superficies ventrolaterales del mesencéfalo (v. figuras 15.16 y 15.17b) son los **pedúnculos cerebrales** (*peduncles*, pequeños pies). Contienen: 1) fibras ascendentes que sinaptan en los núcleos talámicos, y 2) fibras descendentes de la vía corticoespinal que llevan órdenes motoras voluntarias desde la corteza motora primaria de cada hemisferio cerebral.

Protuberancia [v. figuras 15.15/15.16/15.18 y tabla 15.9]

La protuberancia se extiende inferiormente desde el mesencéfalo hasta el bulbo raquídeo. Forma una prominencia considerable en la superficie anterior del tronco del encéfalo. Los hemisferios cerebelosos se sitúan posteriores a la protuberancia; los dos están parcialmente separados por el cuarto ventrículo. A cada lado, la protuberancia está unida al cerebelo por tres *pedúnculos cerebelosos*. Las características y regiones importantes se indican en las figuras 15.15, 15.16 y 15.18; las estructuras se detallan en la tabla 15.9. La protuberancia contiene:

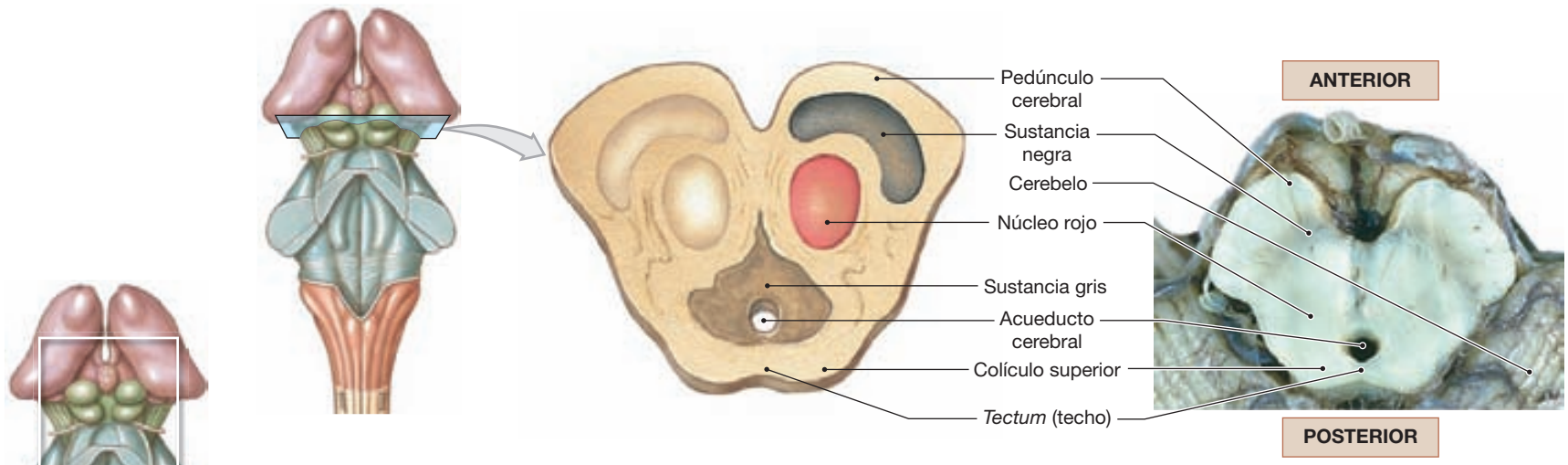
- **Núcleos sensitivos y motores para cuatro nervios craneales:** (N V, N VI, N VII y N VIII). Estos nervios craneales inervan los músculos de la mandíbula, la superficie anterior de la cara, uno de los músculos extraoculares (el recto lateral) y los órganos de la audición y el equilibrio del oído interno.

Nota clínica

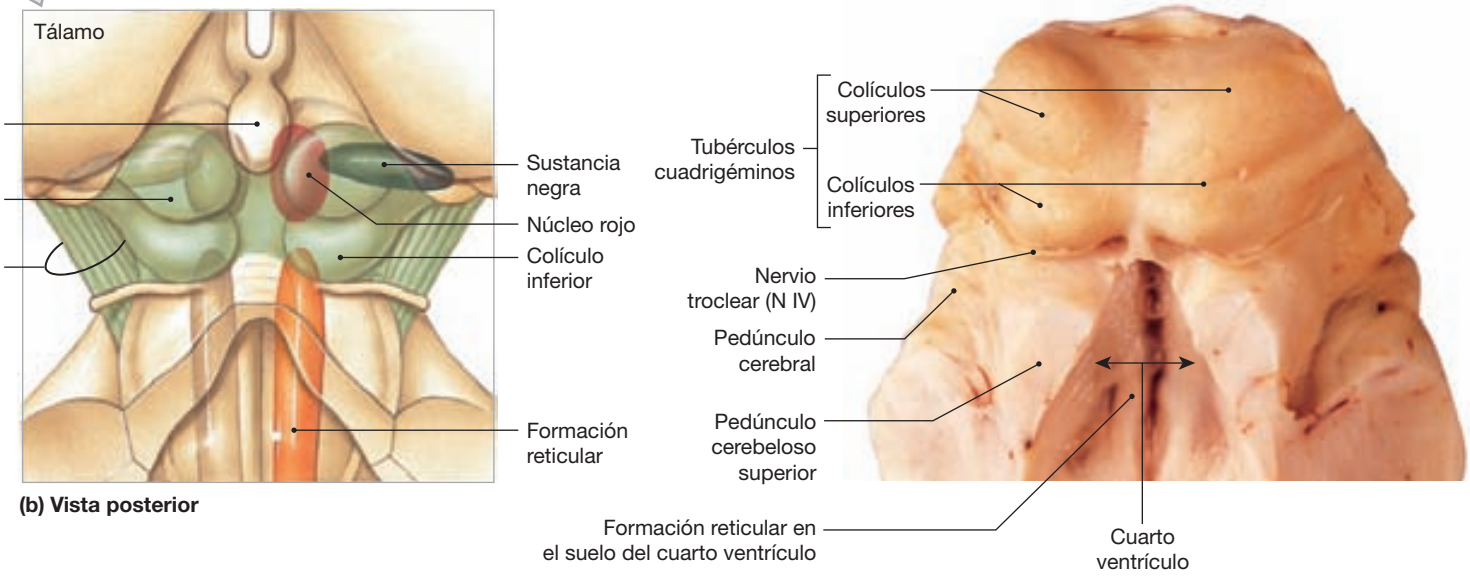
Sustancia negra y enfermedad de Parkinson Los ganglios basales contienen dos poblaciones diferentes de neuronas. Un grupo estimula las neuronas motoras mediante la liberación de acetilcolina (ACh) y el otro inhibe las neuronas motoras mediante la liberación del neurotransmisor *ácido gamma-aminobutírico* o *GABA*. En condiciones normales, las neuronas excitatorias permanecen inactivas, y los tractos descendentes son responsables principalmente de inhibir la actividad neuronal motora. Las neuronas motoras están en reposo porque están continuamente expuestas a los efectos inhibitorios del neurotransmisor *dopamina*. Este compuesto se fabrica en las neuronas de la sustancia negra y se transporta a lo largo de los axones hasta las sinapsis de los ganglios basales. Si se lesionan el tracto ascendente o las neuronas productoras de dopamina, se pierde esta inhibición y las neuronas excitatorias se hacen más activas. Este aumento de actividad produce los síntomas motores de la **enfermedad de Parkinson,** o *parálisis agitante*.

La enfermedad de Parkinson se caracteriza por un incremento pronunciado del tono muscular. Los movimientos voluntarios se hacen dubitativos y entrecortados, ya que un movimiento no puede producirse hasta que un grupo muscular consigue dominar a sus antagonistas. Los individuos con enfermedad de Parkinson presentan **espasticidad** durante el movimiento voluntario y un **temblor** continuo en reposo. El temblor representa un «tira y afloja» entre los grupos musculares antagónicos que produce una agitación de fondo de los miembros. Los individuos con enfermedad de Parkinson también tienen dificultad para iniciar los movimientos voluntarios. Incluso cambiar la expresión facial requiere una intensa concentración, y el individuo adquiere una expresión vacía, estática. Finalmente, la posición y los ajustes preparatorios que normalmente se llevan a cabo de forma automática, no se producen. Cualquier aspecto de cada movimiento debe controlarse voluntariamente y el esfuerzo extraordinario requiere una concentración intensa que puede llegar a ser fatigosa y extremadamente frustrante. En las fases tardías de este trastorno, a menudo aparecen otros efectos sobre el SNC, como depresión y alucinaciones.

Proporcionar dopamina a los ganglios basales puede reducir significativamente los síntomas en dos tercios de los pacientes con Parkinson. La dopamina no cruza la barrera hematoencefálica, y el tratamiento más frecuente consiste en la administración oral del fármaco L-DOPA (*levodopa*), un compuesto relacionado que cruza los capilares cerebrales y se convierte en dopamina. La cirugía para controlar los síntomas del Parkinson se centra en la destrucción de grandes áreas de los ganglios basales o el tálamo para controlar los síntomas motores de temblor y rigidez. El trasplante de tejidos que producen dopamina o compuestos relacionados directamente en los núcleos basales es un método que se ha intentado como curativo. El trasplante de células cerebrales fetales en los ganglios basales de cerebros adultos ha enlentecido o incluso revertido la evolución de la enfermedad en un número significativo de pacientes, aunque en muchos casos más tarde se desarrollan problemas por contracciones musculares involuntarias.



(a) Sección transversal, vista superior



(b) Vista posterior

Figura 15.17 Mesencéfalo
(a) Vista esquemática y en sección del tronco del encéfalo, tomando las secciones al nivel indicado en el icono. **(b)** Vista esquemática y posterior del diencéfalo y el tronco del encéfalo. La vista esquemática se ha dibujado como si fuera transparente para mostrar la posición de los núcleos importantes.

TABLA 15.8 Mesencéfalo

Subdivisión	Región/núcleo	Funciones
SUSTANCIA GRIS		
***Tectum* (techo)**	**Colículos superiores**	Integran la información visual con otros impulsos sensitivos; inician respuestas reflejas a los estímulos visuales
	Colículos inferiores	Transmiten la información auditiva a los núcleos geniculados mediales; inician respuestas reflejas a los estímulos auditivos
Paredes y suelo	**Núcleos rojos**	Control involuntario del tono muscular de fondo y la posición del miembro
	Sustancia negra	Regula la actividad en los núcleos basales
	Formación reticular	Procesamiento automático de la sensibilidad aferente y las órdenes motoras eferentes; puede iniciar respuestas motoras a estímulos; ayuda a mantener el nivel de conciencia
	Otros núcleos/centros	Núcleos asociados a dos nervios craneales (N III, N IV)
SUSTANCIA BLANCA	**Pedúnculos cerebrales**	Conectan la corteza motora primaria con las neuronas motoras del encéfalo y la médula espinal; llevan la información sensitiva ascendente hasta el tálamo

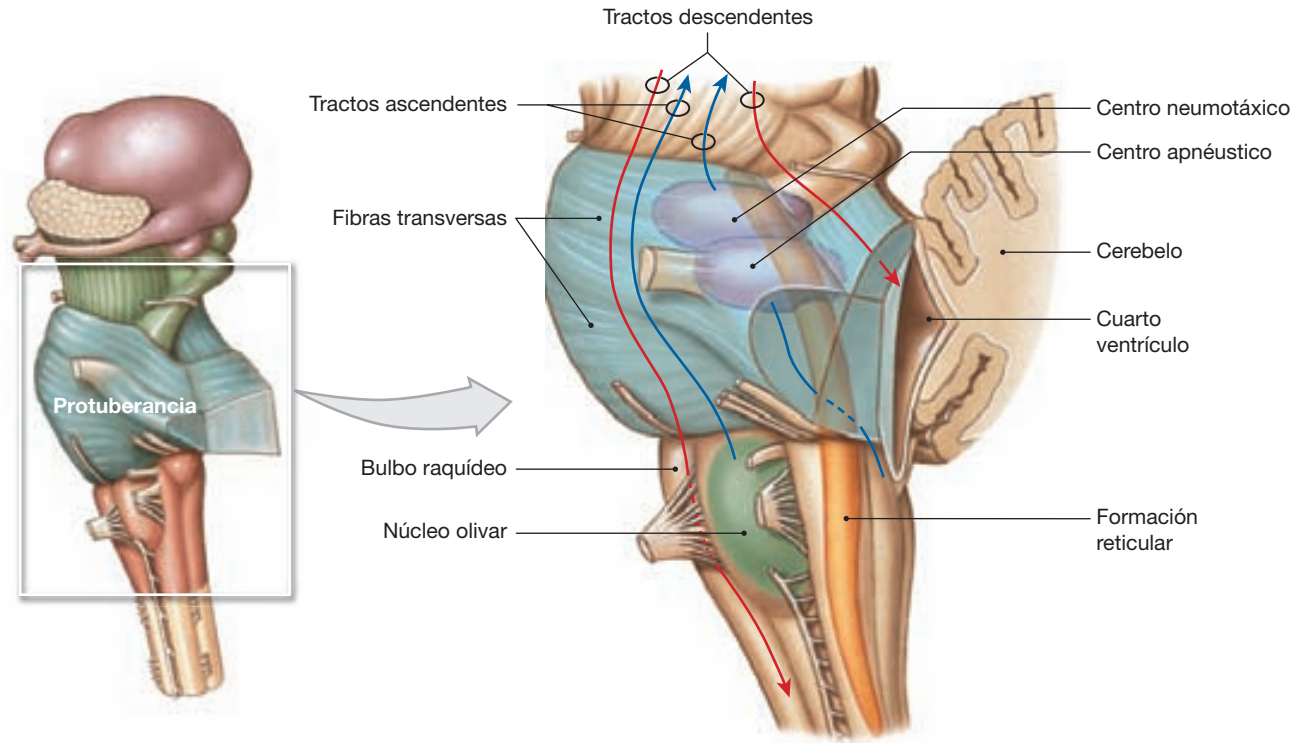


Figura 15.18 **Protuberancia**

TABLA 15.9 Protuberancia

Subdivisión	Región/núcleo	Funciones
Sustancia gris	**Centros respiratorios**	Modifican las eferencias de los centros respiratorios del bulbo raquídeo
	Otros núcleos/centros	Núcleos asociados a cuatro nervios craneales y al cerebelo
Sustancia blanca	**Tractos ascendentes y descendentes**	Interconectan otras porciones del SNC
	Fibras transversas	Interconectan los hemisferios cerebelosos; interconectan los núcleos pontinos con el hemisferio cerebeloso del lado opuesto

- **Núcleos relacionados con el control involuntario de la respiración:** A cada lado del encéfalo, la formación reticular de esta región contiene dos centros respiratorios, el *centro apnéustico* y el *centro neumotáxico*. Estos centros modifican la actividad del *centro de ritmicidad respiratoria* del bulbo raquídeo.
- **Núcleos que procesan y transmiten las órdenes cerebelosas que llegan por los pedúnculos cerebelosos medios:** Los pedúnculos cerebelosos medios están conectados con las **fibras transversas** de la protuberancia que cruzan su superficie anterior.
- **Tractos ascendentes, descendentes y transversos:** Los tractos longitudinales interconectan otras porciones del SNC. Los pedúnculos cerebelosos superiores contienen tractos eferentes que se originan en los núcleos cerebelosos. Estas fibras permiten la comunicación entre los hemisferios cerebelosos de lados opuestos. Los pedúnculos cerebelosos inferiores contienen tractos tanto aferentes como eferentes que conectan el cerebelo con el bulbo raquídeo.

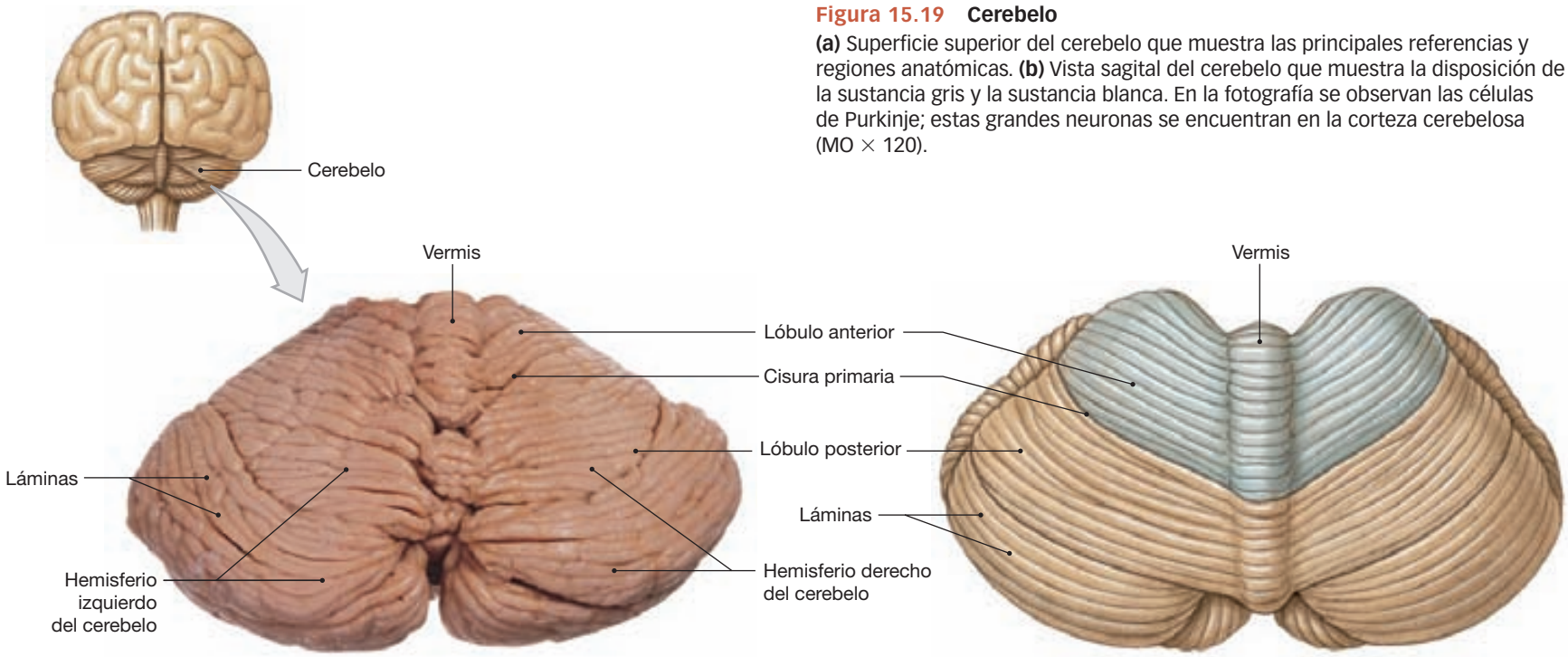
Cerebelo [v. figuras 15.8/15.15/15.16/15.19 y tabla 15.10]

El cerebelo tiene dos **hemisferios cerebelosos,** cada uno de los cuales presenta una superficie muy contorneada compuesta de corteza nerviosa (v. figuras 15.8 y 15.19). Estos pliegues o **láminas** *(folia)* de la superficie son menos prominentes que las circunvoluciones de los hemisferios cerebrales. Cada hemisferio consta de dos **lóbulos, anterior** y **posterior,** que están separados por el **surco primario.** A lo largo de la línea media, una banda estrecha de corteza conocida como **vermis** (gusano) separa los hemisferios cerebelosos. Los delgados **lóbulos floculonodulares** se sitúan anteriores e inferiores a cada hemisferio cerebeloso. Los lóbulos anterior y posterior intervienen en la planificación, ejecución y coordinación de los movimientos del miembro y el tronco. El lóbulo floculonodular es importante para el mantenimiento del equilibrio y el control de los movimientos oculares. Las estructuras del cerebelo y sus funciones se resumen en la tabla 15.10.

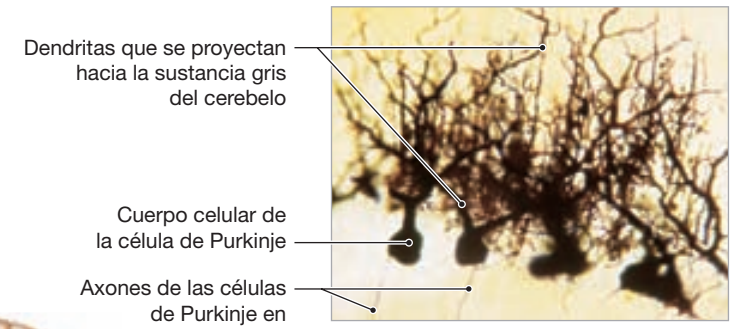
La corteza cerebelosa contiene enormes **células de Purkinje** muy ramificadas (v. figura 15.19b). Las células de Purkinje tienen grandes cuerpos celulares en forma de pera que tienen dendritas grandes y numerosas que se abren en forma de abanico en la sustancia gris (corteza nerviosa) de la corteza cerebelosa. Los axones se proyectan desde la porción basal de la célula hacia la sustancia blanca para alcanzar los núcleos cerebelosos. Internamente, la sustancia blanca del cerebelo tiene una disposición ramificada que en una vista de una sección transversal recuerda un árbol. Los anatomistas la denominan el ***arbor vitae*** o «árbol de la vida». El cerebelo recibe información propioceptiva que indica la posición corporal (sensibilidad posicional), desde la médula espinal y controla toda la sensibilidad propioceptiva, visual, táctil, del equilibrio y auditiva recibida por el encéfalo. La información relacionada con las órdenes motoras emitidas por la corteza cerebral alcanza el cerebelo indirectamente, transmitida desde los núcleos de la protuberancia. Una porción relativamente pequeña de las fibras aferentes sinaptan en los **núcleos cerebelosos** antes de proyectarse a la corteza cerebelosa. La mayoría de los axones que llevan información sensitiva no hacen sinapsis en los núcleos cerebelosos sino que pasan a través de las capas profundas de la corteza cerebral para terminar cerca de la superficie cortical. Allí sinaptan con

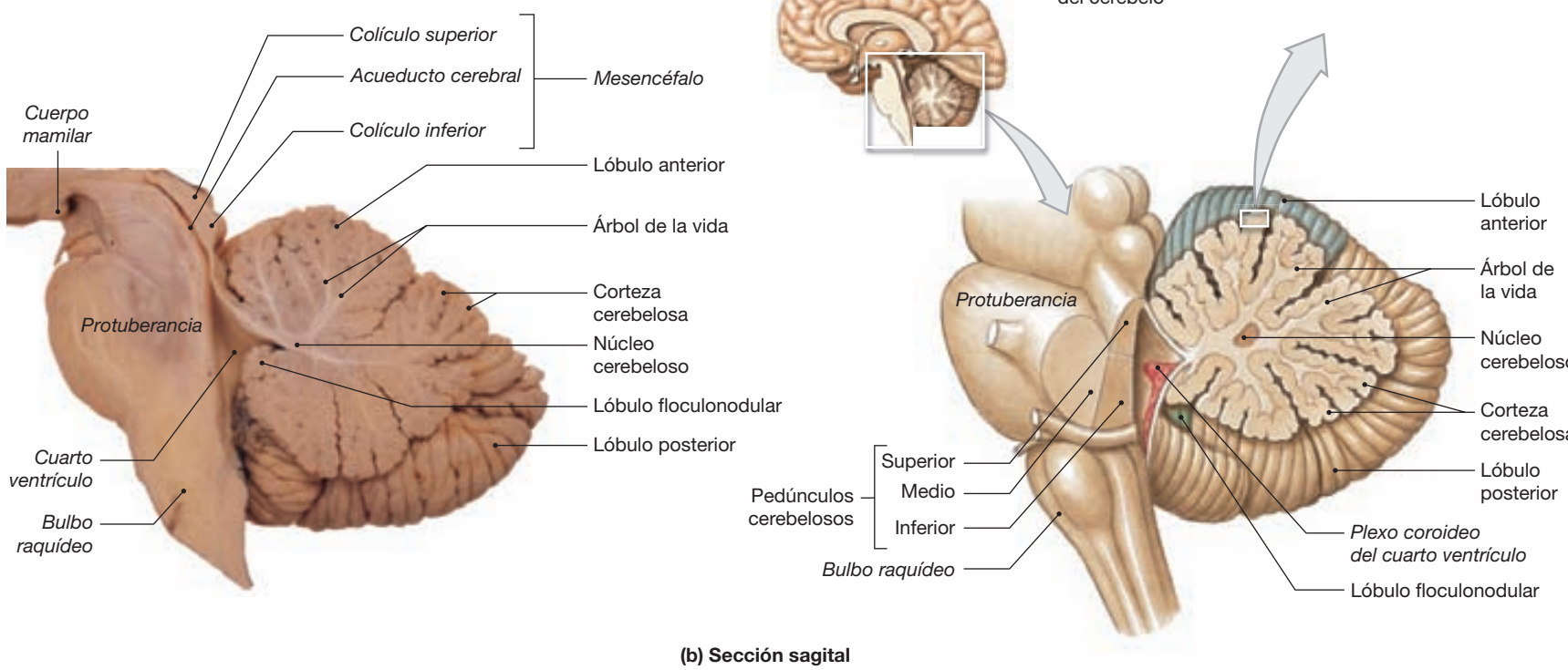
Figura 15.19 Cerebelo

(a) Superficie superior del cerebelo que muestra las principales referencias y regiones anatómicas. **(b)** Vista sagital del cerebelo que muestra la disposición de la sustancia gris y la sustancia blanca. En la fotografía se observan las células de Purkinje; estas grandes neuronas se encuentran en la corteza cerebelosa (MO × 120).



(a) Superficie posterosuperior


Dendritas que se proyectan hacia la sustancia gris del cerebelo
Cuerpo celular de la célula de Purkinje
Axones de las células de Purkinje en la sustancia blanca del cerebelo
Células de Purkinje



(b) Sección sagital

TABLA 15.10 Cerebelo

Subdivisión	Región/núcleo	Funciones
Sustancia gris	**Corteza cerebelosa**	Coordinación y control subconsciente de los movimientos en curso de partes corporales
	Núcleos cerebelosos	Como la anterior
Sustancia blanca	**Árbol de la vida**	Conecta la corteza y los núcleos cerebelosos con los pedúnculos cerebelosos
	Pedúnculos cerebelosos	
	Superior	Conecta el cerebelo con el mesencéfalo, el diencéfalo y el cerebro
	Medio	Contiene fibras transversas y lleva comunicaciones entre el cerebelo y la protuberancia
	Inferior	Conecta el cerebelo con el bulbo raquídeo y la médula espinal

las prolongaciones dendríticas de las células de Purkinje. Los tractos que contienen los axones de las células de Purkinje transmiten después órdenes motoras a los núcleos del cerebro y del tronco del encéfalo.

Los tractos que conectan el cerebelo con el tronco del encéfalo, el cerebro y la médula espinal salen de los hemisferios cerebelosos formando los *pedúnculos cerebelosos superiores*, *medios* e *inferiores* (v. figuras 15.15a, 15.16 y 15.19b). Los **pedúnculos cerebelosos superiores** conectan el cerebelo con los núcleos del mesencéfalo, el diencéfalo y el cerebro. Los **pedúnculos cerebelosos medios** están conectados con una banda ancha de fibras que cruzan la superficie ventral de la protuberancia en ángulo recto con el eje del tronco del encéfalo. Los pedúnculos cerebelosos medios también conectan los hemisferios cerebelosos con núcleos sensitivos y motores de la protuberancia. Los **pedúnculos cerebelosos inferiores** permiten la comunicación entre el cerebelo y los núcleos del bulbo raquídeo y llevan tractos cerebelosos ascendentes y descendentes desde la médula espinal.

El cerebelo es un centro de procesamiento automático con dos funciones fundamentales:

- **Ajustar los músculos posturales del cuerpo:** El cerebelo coordina los ajustes automáticos rápidos que mantienen el equilibrio. Estas alteraciones del tono muscular y de la posición se hacen modificando la actividad del núcleo rojo.
- **Programar y ajustar de forma precisa los movimientos voluntarios e involuntarios:** El cerebelo almacena recuerdos de los patrones de movimiento aprendidos. Estas funciones se llevan a cabo de forma indirecta, regulando la actividad a lo largo de las vías motoras que incluyen la corteza cerebral, los ganglios basales y los centros motores del tronco del encéfalo.

Bulbo raquídeo [v. figuras 15.9/15.15/15.16/15.18/15.20 y tabla 15.11]

La médula espinal conecta con el tronco del encéfalo en el **bulbo raquídeo,** que se corresponde con el mielencéfalo embrionario. El bulbo raquídeo o *médula oblongada,* se continúa con la médula espinal. El aspecto externo del bulbo raquídeo se muestra en las figuras 15.9a y 15.16. Los núcleos y centros importantes están esquematizados en la figura 15.20 y se detallan en la tabla 15.11.

La figura 15.15a muestra el bulbo raquídeo en una sección mediosagital. La porción caudal recuerda a la médula espinal en que tiene una forma redondeada y un conducto central estrecho. Cerca de la protuberancia, el conducto central se hace más grande y se continúa con el cuarto ventrículo.

El bulbo raquídeo conecta físicamente el encéfalo con la médula espinal, y muchas de sus funciones están directamente relacionadas con esta conexión. Por ejemplo, toda comunicación entre el encéfalo y la médula espinal incluye tractos que ascienden o descienden a través del bulbo raquídeo.

Nota clínica

Disfunción cerebelosa La función cerebelosa puede estar alterada permanentemente por un traumatismo o un ictus o transitoriamente por tóxicos como el alcohol. Las alteraciones pueden producir trastornos en el control motor. En la ataxia grave, los problemas del equilibrio son tan intensos que el individuo no puede sentarse erguido. Los trastornos menos graves causan una inestabilidad obvia y patrones irregulares de movimiento. El individuo normalmente se mira los pies para ver por dónde van y controla los movimientos en curso mediante una intensa concentración y esfuerzo voluntario. Alcanzar algún objeto se convierte en un esfuerzo importante porque la única información disponible debe adquirirse mediante la vista o el tacto mientras tiene lugar el movimiento. Sin la capacidad cerebelosa de ajustar los movimientos mientras se están produciendo, el individuo se vuelve incapaz de anticipar el transcurso de un movimiento con el tiempo. Más frecuentemente, el movimiento para alcanzar algo termina con la mano sobrepasando el objetivo. Esta incapacidad para anticipar y detener un movimiento de forma precisa se denomina **dismetría** (*dys-*, mala + *metron*, medida). Al intentar corregir la situación, la persona generalmente vuelve a sobrepasarlo, esta vez en dirección contraria, y así sucesivamente. La mano oscila hacia atrás y hacia delante hasta que puede coger el objeto o hasta que abandona el intento. Este movimiento oscilatorio se conoce como *temblor de intención*.

Los clínicos comprueban si existe ataxia observando la marcha del individuo en línea recta; la prueba habitual para la dismetría consiste en tocar la punta del dedo índice y la punta de la nariz o la punta del índice del explorador. Puesto que muchos fármacos afectan la ejecución de las pruebas cerebelosas, estas mismas pruebas son utilizadas por los oficiales de policía para controlar a los conductores con sospecha de conducir bajo los efectos del alcohol u otras drogas.

Los núcleos del bulbo raquídeo pueden ser: 1) estaciones de relevo a lo largo de las vías sensitivas o motoras; 2) núcleos sensitivos o motores asociados a los nervios craneales conectados con el bulbo raquídeo, o 3) núcleos asociados al control autónomo de las actividades viscerales.

1. *Estaciones de relevo:* los tractos ascendentes pueden hacer sinapsis en los núcleos sensitivos o motores que actúan como estaciones de relevo y centros de procesamiento. Por ejemplo, el **núcleo grácil** y el **núcleo cuneiforme** transfieren la información sensitiva somática al tálamo. Los **núcleos olivares** transmiten información desde la médula espinal, la corteza cerebral, el diencéfalo y el tronco del encéfalo hasta la corteza cerebelosa. La prominencia de los núcleos olivares crea las **olivas,** abul-

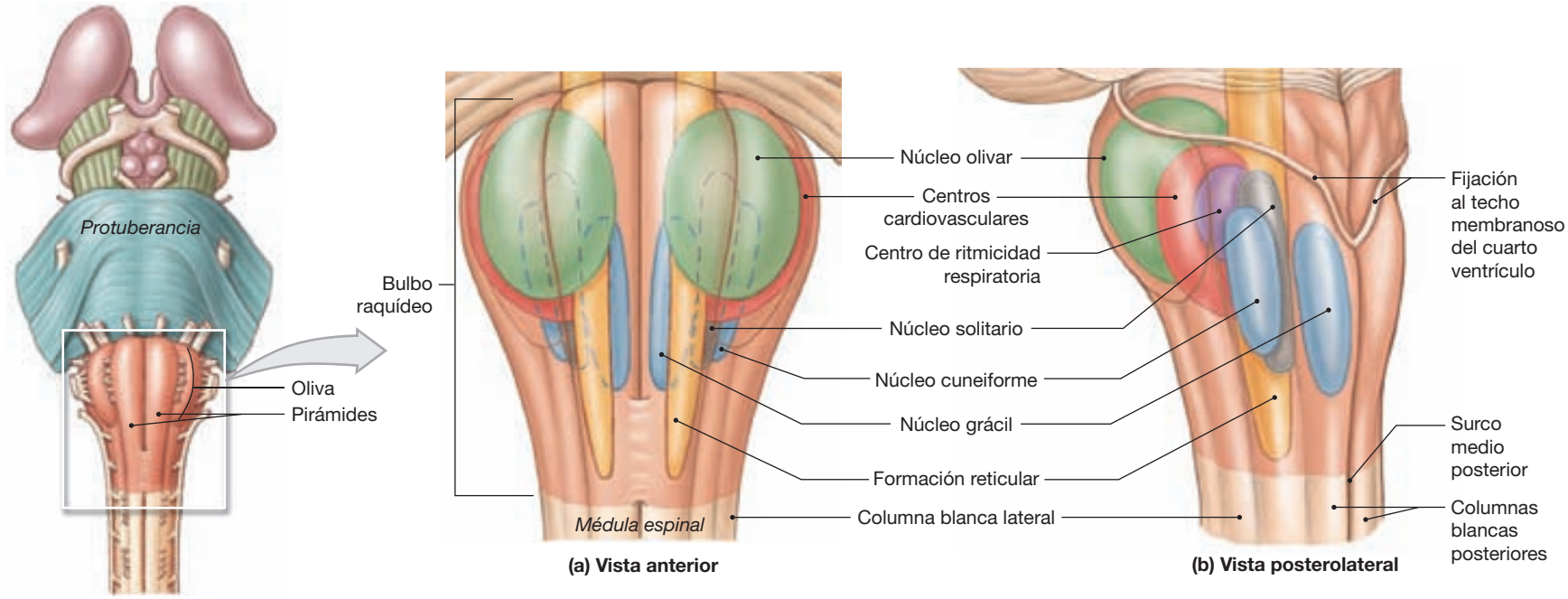


Figura 15.20 **Bulbo raquídeo**

TABLA 15.11 Bulbo raquídeo

Subdivisión	Región/Núcleo	Funciones
Sustancia gris	**Núcleo grácil** **Núcleo cuneiforme**	Transmiten la información sensitiva a los núcleos ventrales posteriores del tálamo
	Núcleos olivares	Transmiten la información desde la médula espinal, el núcleo rojo, otros centros del cerebro medio y la corteza cerebral al vermis del cerebelo
	Centros reflejos	
	Centros cardíacos	Regulan la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción
	Centros vasomotores	Regulan la distribución del flujo sanguíneo
	Centros de ritmicidad respiratoria	Establecen el ritmo de los movimientos respiratorios
	Otros núcleos/centros	Núcleos sensitivos y motores de cinco nervios craneales Núcleos que transmiten la información sensitiva ascendente desde la médula espinal hasta los centros superiores
Sustancia blanca	**Tractos ascendentes y descendentes**	Conectan el encéfalo con la médula espinal

tamientos prominentes a lo largo de la superficie ventrolateral del bulbo raquídeo (v. figura 15.18).

2. *Núcleos de nervios craneales:* el bulbo raquídeo contiene núcleos sensitivos y motores asociados a cinco de los nervios craneales (N VIII, N IX, N X, N XI y N XII). Estos nervios craneales inervan los músculos de la faringe, el cuello y la espalda, así como las vísceras de las cavidades torácica y peritoneal.
3. *Núcleos autónomos:* la formación reticular del bulbo raquídeo contiene núcleos y centros responsables de la regulación de funciones autónomas vitales. Estos **centros reflejos** reciben aferencias de los nervios craneales, la corteza cerebral, el diencéfalo y el tronco del encéfalo, y sus eferencias controlan o ajustan las actividades de uno o más sistemas periféricos. Los principales centros incluyen los siguientes:
   - Los **centros cardiovasculares,** que ajustan la frecuencia cardíaca, la fuerza de las contracciones cardíacas y el flujo sanguíneo a través de los tejidos periféricos. Sobre una base funcional, los centros cardiovasculares pueden subdividirse en centro *cardíaco* (*kardia,* corazón) y *vasomotor* (*vas,* canal), pero sus límites anatómicos son difíciles de determinar.
   - Los **centros de ritmicidad respiratoria,** que establecen el ritmo básico de los movimientos respiratorios; su actividad está regulada por impulsos procedentes de los centros apnéustico y neumotáxico de la protuberancia.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿En qué parte del encéfalo se puede encontrar un gusano (vermis) y un árbol (árbol de la vida)?
2. El bulbo raquídeo tiene una de las secciones más pequeñas del encéfalo, pero una lesión en él puede causar la muerte, mientras que una lesión similar en el cerebro podría pasar desapercibida. ¿Por qué?
3. ¿Cuáles son las funciones de los núcleos del techo del mesencéfalo?
4. Cuando la sustancia negra pierde su color oscuro, las neuronas aquí no fabrican dopamina. ¿Cuáles podrían ser algunos signos clínicos de este trastorno?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nervios craneales

[v. figura 15.21/tabla 15.12]

Los nervios craneales son componentes del sistema nervioso periférico que conectan con el encéfalo en lugar de con la médula espinal. En la superficie ventrolateral del encéfalo pueden encontrarse 12 pares de nervios craneales (**v. figura 15.21**), cada uno de los cuales tiene un nombre que se relaciona con su aspecto o función. La tabla 15.12 presenta un resumen de la localización y las funciones de los nervios craneales.

Los nervios craneales se numeran de acuerdo con su posición a lo largo del eje longitudinal del encéfalo, comenzando en el cerebro. Generalmente se utilizan números romanos, solos o con el prefijo N o NC. Nosotros usaremos la abreviatura N, generalmente preferida por los neuroanatomistas y neurólogos clínicos. Los anatomistas comparativos prefieren NC, una abreviatura igualmente válida.

Cada nervio craneal se fija al encéfalo cerca de los núcleos sensitivos o motores asociados. Los núcleos sensitivos actúan como centros de intercambio y las neuronas postsinápticas transmiten la información bien a otros núcleos o bien a los centros de procesamiento de la corteza cerebral o cerebelosa. De forma similar, los núcleos motores reciben impulsos convergentes de los centros superiores o de otros núcleos a lo largo del tronco del encéfalo.

La siguiente sección clasifica los nervios craneales como principalmente sensitivos, sensitivos especiales, motores o mixtos (sensitivos y motores). Este es

TABLA 15.12 Nervios craneales

Nervio craneal (#)	Ganglio sensitivo	Rama	Función principal	Agujero	Inervación
Olfativo (I)			Sensitiva especial	Lámina cribosa	Epitelio olfativo
Óptico (II)			Sensitiva especial	Conducto óptico	Retina del ojo
Oculomotor (III)			Motora	Hendidura esfenoidal	Músculos recto inferior, medial y superior, oblicuo inferior y elevador del párpado superior; músculos intrínsecos del ojo
Troclear (IV)			Motora	Hendidura esfenoidal	Músculo oblicuo superior
Trigémino (V)	Semilunar		Mixta		Áreas asociadas con las mandíbulas
		Oftálmica	Sensitiva	Hendidura esfenoidal	Estructuras orbitarias, cavidad nasal, piel de la frente, párpado superior, cejas, nariz (parte)
		Maxilar	Sensitiva	Agujero redondo	Párpado inferior; labio, encías y dientes superiores; mejilla, nariz (parte), paladar y faringe (parte)
		Mandibular	Mixta	Agujero oval	*Sensitiva* al labio, encías y dientes inferiores; paladar (parte) y lengua (parte). *Motora* a los músculos de la masticación
Abducens (VI)			Motora	Hendidura esfenoidal	Músculo recto lateral
Facial (VII)	Geniculado		Mixta	Conducto auditivo interno hasta el conducto del facial; sale por el agujero estilomastoideo	*Sensitiva* a los receptores gustativos de los dos tercios anteriores de la lengua; *motora* a los músculos de la expresión facial, la glándula lagrimal, la glándula salivar submandibular, glándulas salivares sublinguales
Vestibulococlear (acústico) (VIII)		Coclear	Sensitiva especial	Conducto auditivo interno	Cóclea (receptores de la audición)
		Vestibular	Sensitiva especial	Como la anterior	Vestíbulo (receptores del movimiento y el equilibrio)
Glosofaríngeo (IX)	Superior (yugular) e inferior (petroso)		Mixta	Agujero yugular	*Sensitiva* al tercio posterior de la lengua; faringe y paladar (parte); cuerpo carotídeo (controla la presión arterial, pH y niveles de gases respiratorios). *Motora* a los músculos faríngeos, glándula salivar parotídea
Vago (X)	Superior (yugular) e inferior (nodoso)		Mixta	Agujero yugular	*Sensitiva* a la faringe; oreja y conducto auditivo externo; diafragma; vísceras de la cavidad torácica y abdominopélvica. *Motora* al paladar y los músculos faríngeos, y a los órganos viscerales de la cavidad torácica y abdominopélvica
Accesorio (XI)		Rama interna	Motora	Agujero yugular	Músculos estriados del paladar, faringe y laringe (con ramas del nervio vago)
		Rama externa	Motora	Agujero yugular	Músculos esternocleidomastoideo y trapecio
Hipogloso (XII)			Motora	Conducto del hipogloso	Musculatura de la lengua

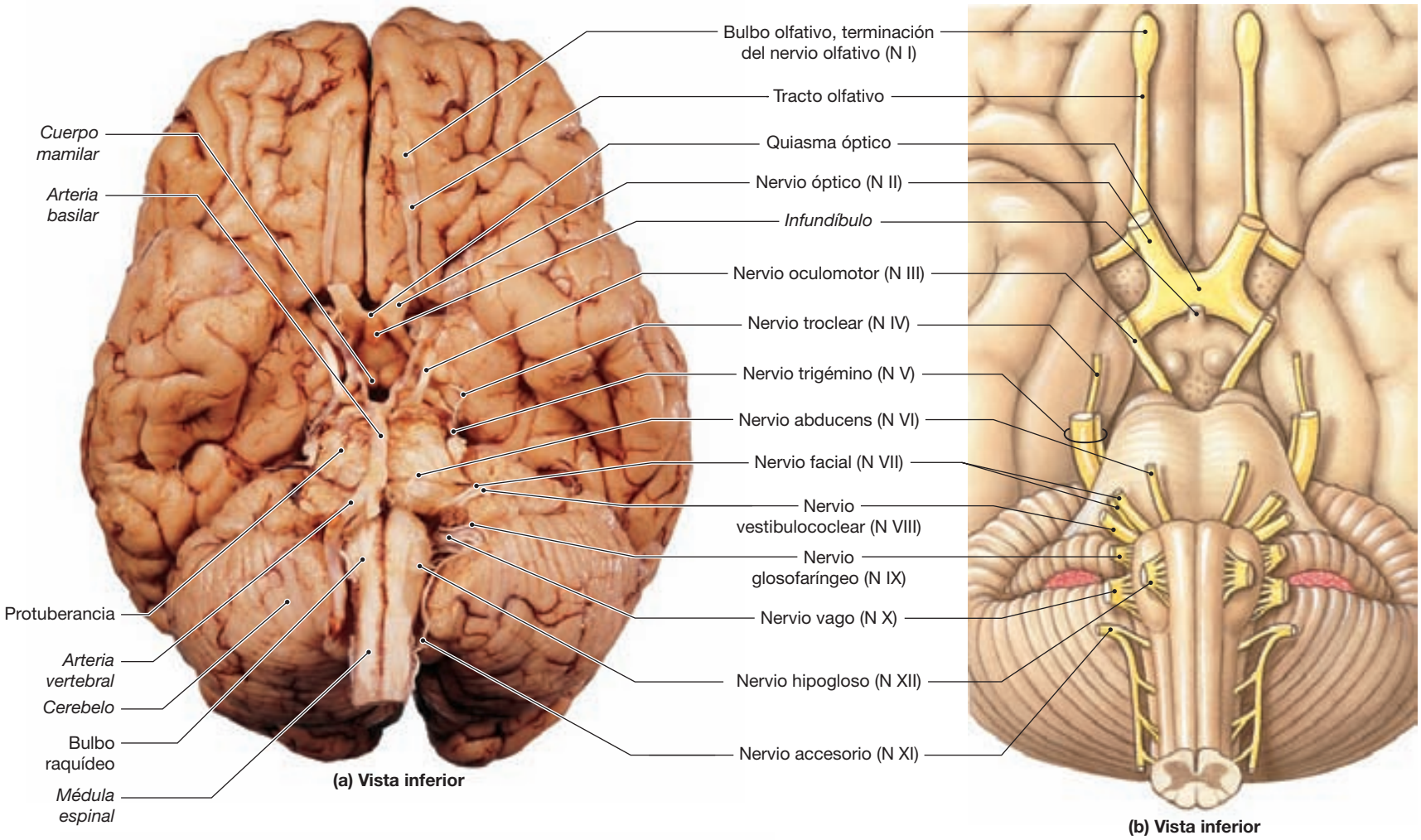


Figura 15.21 Origen de los nervios craneales
(a) La superficie inferior del encéfalo como aparece en la disección macroscópica. Las raíces de los nervios craneales son claramente visibles. **(b)** Vista esquemática inferior del encéfalo humano; compárese con la parte (a). **(c)** Vista superior de la fosa craneal tras extraer el encéfalo y la mitad derecha de la tienda del cerebelo. Son visibles porciones de varios nervios craneales.

un método útil de clasificación, pero se basa en la función principal, y un nervio craneal puede tener funciones secundarias importantes. Hay dos ejemplos que merece la pena señalar:

1. Como en cualquier otra parte del SNP, un nervio que contiene decenas de miles de fibras motoras para un músculo estriado también contendrá fibras sensitivas de los propiorreceptores de ese músculo. Se asume que estas fibras sensitivas están presentes pero se ignoran en la clasificación fundamental del nervio.
2. Independientemente de sus otras funciones, varios nervios craneales (N III, N VII, N IX y N X) distribuyen fibras autónomas a los ganglios periféricos, al igual que los nervios espinales que las reparten a los ganglios a lo largo de la médula espinal. La presencia de un pequeño número de fibras autónomas se señalará (y tratará más adelante en el capítulo 17) pero se ignorará en la clasificación del nervio.

Nervio olfativo (N I) [v. figuras 15.21/15.22]

Función principal: sensitivo especial (olfato).
Origen: receptores del epitelio olfativo.
Pasa a través de: lámina cribosa del etmoides [p. 149].
Destino: bulbos olfativos.

El primer par de nervios craneales (v. figura 15.22) lleva la información sensitiva especial responsable del sentido del olfato. Los receptores olfativos son neuronas especializadas del epitelio que cubre el techo de la cavidad nasal, el cornete nasal superior del etmoides y la parte superior del tabique nasal. Los axones de estas neuronas sensitivas se reúnen para formar 20 haces o más que penetran en la lámina cribosa del etmoides. Estos haces son componentes de los **nervios olfativos (N I)**. Casi inmediatamente estos haces entran en los **bulbos olfativos,** masas nerviosas a cada lado de la *crista galli*. Los aferentes olfativos sinaptan en los bulbos olfativos. Los axones de las neuronas postsinápticas se dirigen al cerebro a lo largo de los finos **tractos olfativos** (v. figuras 15.21 y 15.22).

Debido a que los tractos olfativos parecen nervios periféricos típicos, hace aproximadamente 100 años los anatomistas identificaron erróneamente estos tractos como el primer nervio craneal. Estudios posteriores demostraron que los tractos y bulbos olfativos son parte del cerebro, pero por entonces el sistema de numeración ya estaba firmemente establecido. Los anatomistas agruparon un bosque de finos haces nerviosos olfativos bajo el nombre de N I.

Los nervios olfativos son los únicos nervios craneales unidos directamente al cerebro. El resto se originan o terminan en núcleos del diencéfalo o el tronco del encéfalo, y la información sensitiva ascendente hace sinapsis en el tálamo antes de alcanzar el cerebro.

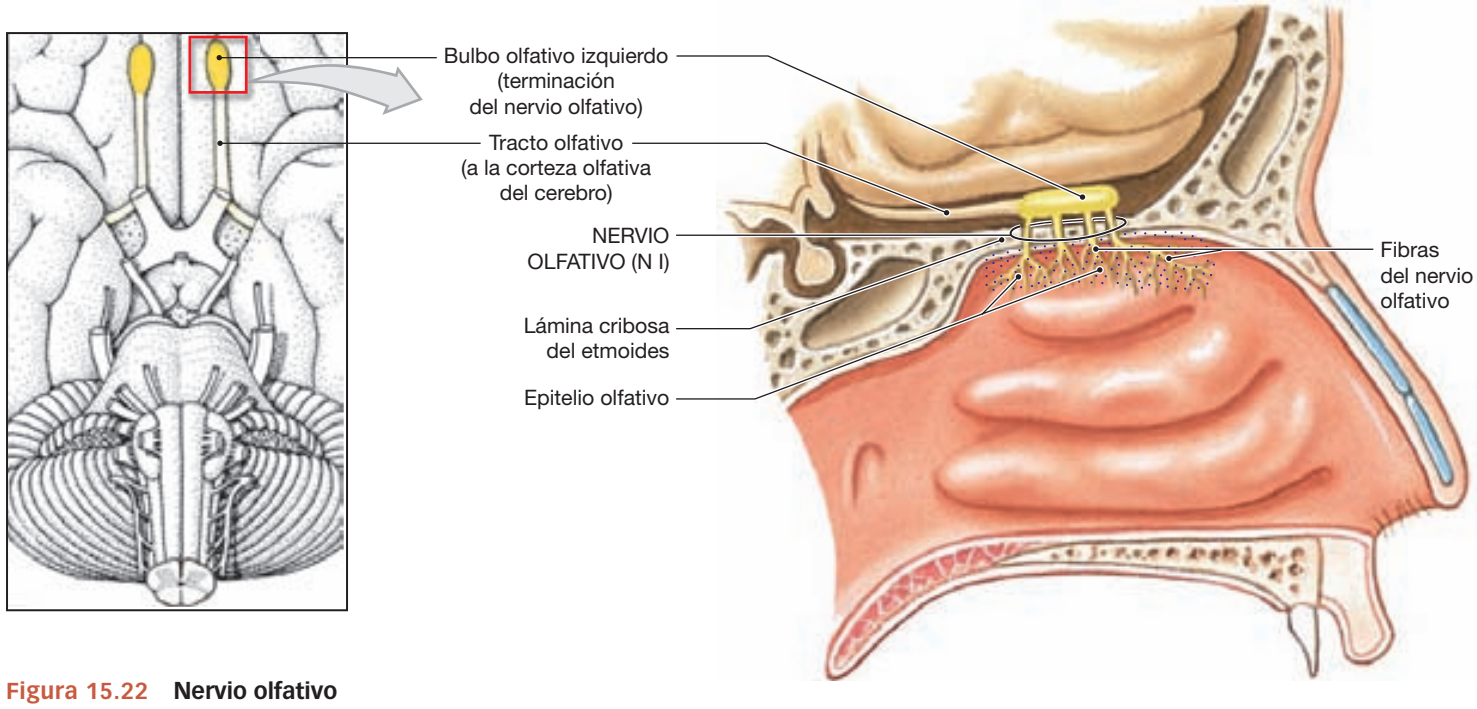

Bulbo olfativo izquierdo (terminación del nervio olfativo)
Tracto olfativo (a la corteza olfativa del cerebro)
NERVIO OLFATIVO (N I)
Lámina cribosa del etmoides
Epitelio olfativo
Fibras del nervio olfativo

Figura 15.22 **Nervio olfativo**

Nervio óptico (N II) [v. figuras 15.21/15.23]

Función principal: sensitivo especial (visión).
Origen: retina del ojo.
Pasa a través de: conducto óptico del esfenoides [p. 149].
Destino: diencéfalo por medio del quiasma óptico.

Los **nervios ópticos (N II)** llevan la información visual desde ganglios sensitivos especiales en los ojos. Estos nervios, esquematizados en la figura 15.23, contienen aproximadamente 1 millón de fibras nerviosas sensitivas. Pasan a través de los conductos ópticos del esfenoides antes de converger en el margen ventral y anterior del diencéfalo, en el **quiasma óptico** (*chiasma,* cruzamiento). En el quiasma óptico, las fibras mediales de cada nervio óptico cruzan al lado opuesto, o contralateral, del encéfalo, mientras que las fibras laterales de cada tracto permanecen en el mismo lado, o ipsolateral, del encéfalo. Los axones reorganizados continúan hacia los núcleos geniculados laterales del tálamo formando los **tractos ópticos** (v. figuras 15.21 y 15.23). Después de hacer sinapsis en los núcleos geniculados laterales, las fibras de proyección **(radiaciones ópticas)** llevan la información al lóbulo occipital del cerebro. Esta disposición da lugar a que cada hemisferio cerebral reciba la información visual de la mitad lateral de la retina del ojo de ese lado y de la mitad medial de la retina del ojo del lado opuesto. Un número relativamente pequeño de axones de los tractos ópticos elude el núcleo geniculado lateral y sinaptan en los colículos superiores del mesencéfalo. Esta vía se considerará en el capítulo 18.

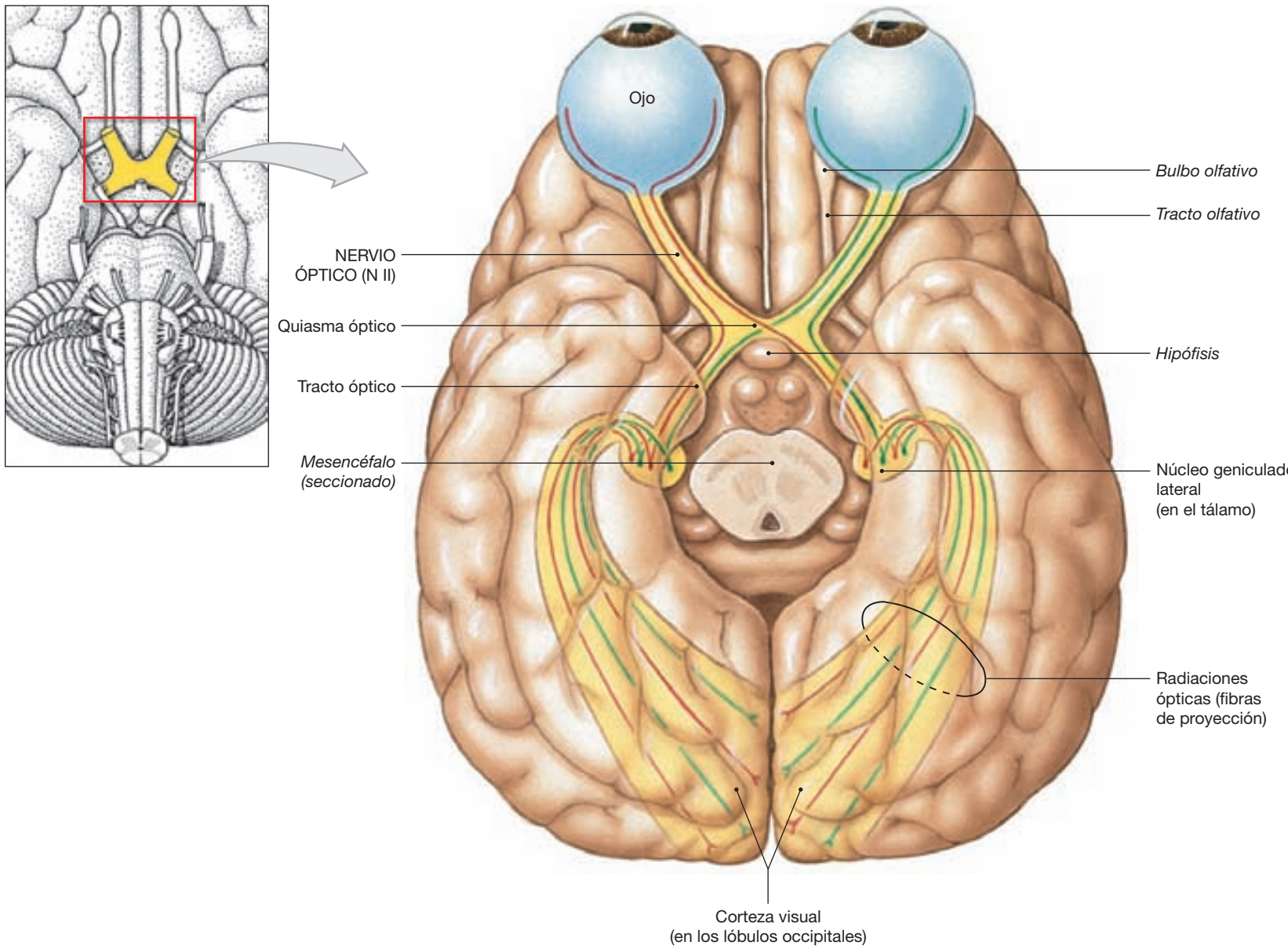


Figura 15.23 **Nervio óptico**

Nervio oculomotor (nervio motor ocular común) (N III) [v. figuras 15.21/15.24]

Función principal: motor, movimientos oculares.
Origen: mesencéfalo.
Pasa a través de: hendidura esfenoidal del esfenoides [p. 149].
Destino: *motor somático:* músculos rectos superior, inferior y medial; el músculo oblicuo inferior; el músculo elevador del párpado superior [p. 267].
Motor visceral: músculos intrínsecos del ojo.

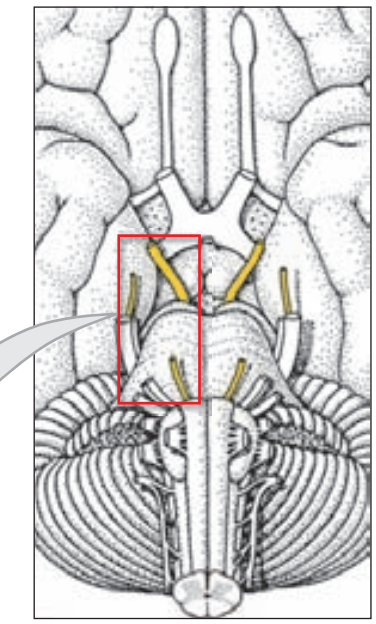
El mesencéfalo contiene los núcleos motores que controlan el tercero y cuarto nervios craneales. Los **nervios oculomotores (N III)** emergen de la superficie ventral del mesencéfalo (v. figura 15.21) y atraviesan la pared orbitaria posterior a nivel de la hendidura esfenoidal. El nervio oculomotor (v. figura 15.24) controla cuatro de los seis músculos extraoculares y el músculo elevador del párpado superior que levanta el párpado superior.

El nervio oculomotor también contiene fibras autónomas preganglionares a las neuronas del **ganglio ciliar.** Las neuronas ganglionares controlan los músculos intrínsecos oculares. Estos músculos modifican el diámetro de la pupila ajustando la cantidad de luz que entra en el ojo, y cambian la forma del cristalino para centrar las imágenes en la retina.

Nervio troclear (nervio patético) (N IV) [v. figuras 15.21/15.24]

Función principal: motor, movimientos oculares.
Origen: mesencéfalo.
Pasa a través de: hendidura esfenoidal del esfenoides [p. 149].
Destino: músculo oblicuo superior [p. 267].

El **nervio troclear** (*trochlea*, polea), el menor de los nervios craneales, inerva el músculo oblicuo superior del ojo (v. figura 15.24). El núcleo motor se sitúa en la porción ventrolateral del mesencéfalo, pero las fibras emergen de la superficie del techo para entrar en la órbita a través de la hendidura esfenoidal (v. figura 15.21). El término *nervio troclear* debería recordarle que el músculo inervado pasa a través de un polea ligamentosa, o *tróclea,* en el trayecto hacia su inserción en la superficie superior del ojo.



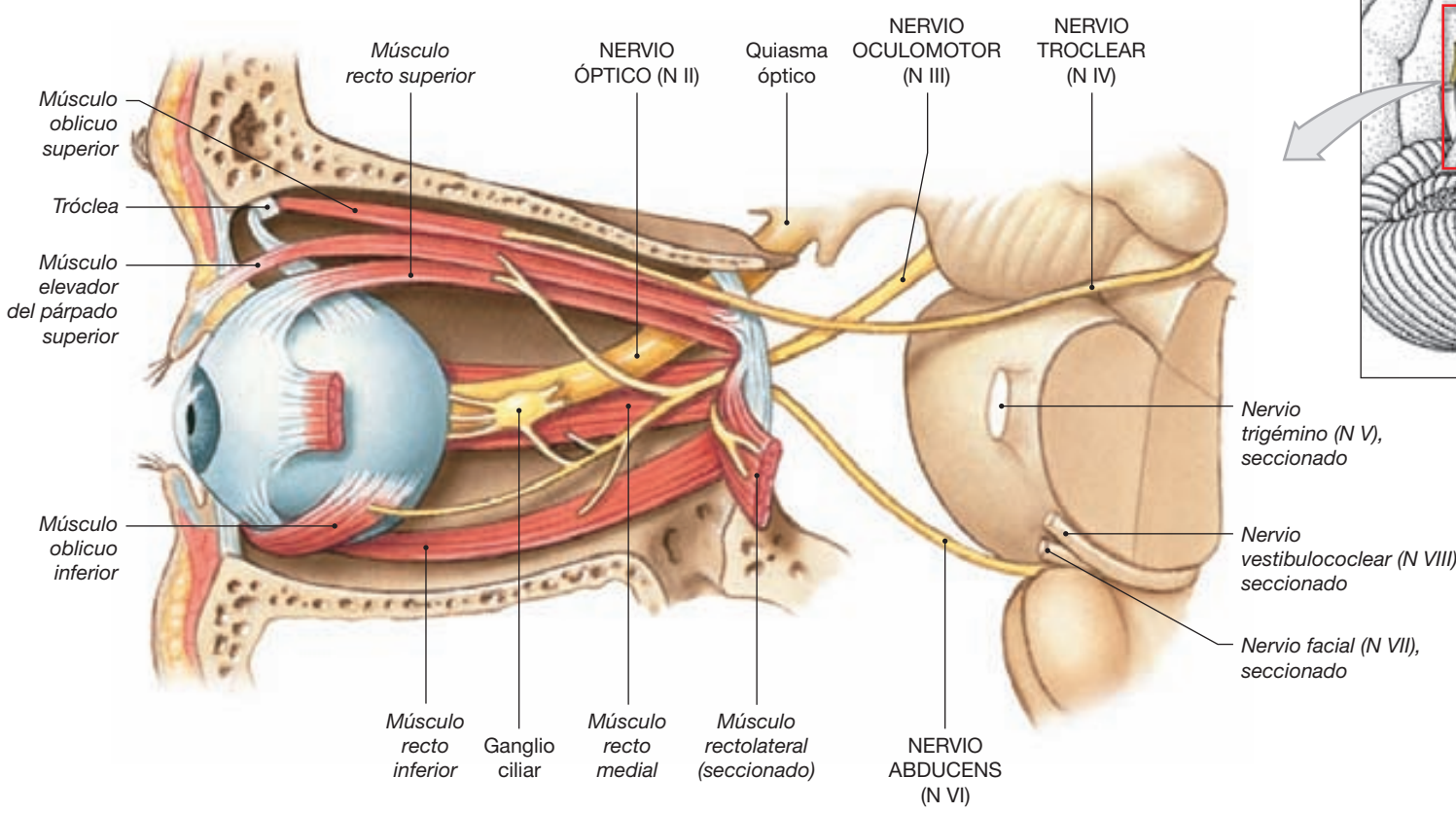


Figura 15.24 **Nervios craneales que controlan los músculos extraoculares**

Nervio trigémino (N V) [v. figuras 15.21/15.25]

Función principal: mixto (sensitivo y motor); ramas oftálmica y maxilar sensitivas, rama mandibular mixta.
Origen: *rama oftálmica* (sensitiva): estructuras orbitarias, cavidad nasal, piel de la frente, párpado superior, ceja y parte de la nariz.
Rama maxilar (sensitiva): párpado inferior, labio, encías y dientes superiores; mejilla; nariz, paladar y parte de la faringe.
Rama mandibular (mixta): sensitivo en el labio, encías y dientes inferiores; paladar y lengua (parte); motor en los núcleos motores de la protuberancia (v. figura 15.21).
Pasa a través de: rama oftálmica a través de la hendidura esfenoidal, rama maxilar a través del agujero redondo, rama mandibular a través del agujero oval [p. 149].
Destino: ramas oftálmica, maxilar y mandibular a los núcleos sensitivos de la protuberancia; la rama mandibular también inerva los músculos de la masticación [p. 268].

La protuberancia contiene los núcleos asociados con tres nervios craneales (N V, N VI y N VII) y contribuye al control de un cuarto (N VIII). El **nervio trigémino** (v. figura 15.25) es el nervio craneal más grande. Este nervio mixto proporciona información sensitiva de la cabeza y la cara y control motor a los músculos de la masticación. Las raíces sensitiva (dorsal) y motora (ventral) se originan en la superficie lateral de la protuberancia. La rama sensitiva es más grande y el enorme **ganglio semilunar** *(ganglio trigeminal)* contiene los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas. Como su nombre indica, el trigémino tiene tres ramas principales; la raíz motora relativamente pequeña contribuye sólo a una de las tres.

Rama 1. La **rama oftálmica** del nervio trigémino es puramente sensitiva. Este nervio inerva las estructuras orbitarias, la cavidad y los senos nasales y la piel de la frente, las cejas, los párpados y la nariz. Sale del cráneo a través de la hendidura esfenoidal, después se ramifica en la órbita.
Rama 2. La **rama maxilar** del nervio trigémino también es sensitiva pura. Inerva el párpado inferior, el labio superior, la mejilla y la nariz. Las estructuras sensitivas más profundas de las encías y los dientes superiores, el paladar y porciones de la faringe también están inervadas por la rama nerviosa maxilar. La rama maxilar sale del cráneo por el agujero redondo, entrando al suelo de la órbita a través de la hendidura esfenomaxilar. Una rama principal del maxilar, el *nervio infraorbitario*, pasa a través del agujero infraorbitario para inervar las porciones adyacentes de la cara.
Rama 3. La **rama mandibular** es la rama más grande del nervio trigémino y lleva todas las fibras motoras. Esta rama sale del cráneo a través del agujero oval. Los componentes motores del nervio mandibular inervan los músculos de la masticación. Las fibras sensitivas llevan la información propioceptiva desde esos músculos y controlan: 1) la piel de las sienes; 2) las superficies laterales, encías y dientes de la mandíbula; 3) las glándulas salivares, y 4) las porciones anteriores de la lengua.

Las ramas del nervio trigémino se asocian a los *ganglios ciliar*, *pterigopalatino*, *submandibular* y *ótico*. Estos son ganglios autónomos cuyas neuronas inervan estructuras de la cara. El nervio trigémino no contiene fibras motoras viscerales y todas sus fibras pasan a través de estos ganglios sin hacer sinapsis. Sin embargo, las ramas de otros nervios craneales, como el *nervio facial*, pueden unirse al nervio trigémino; estas ramas pueden inervar el ganglio, y las fibras autóno-

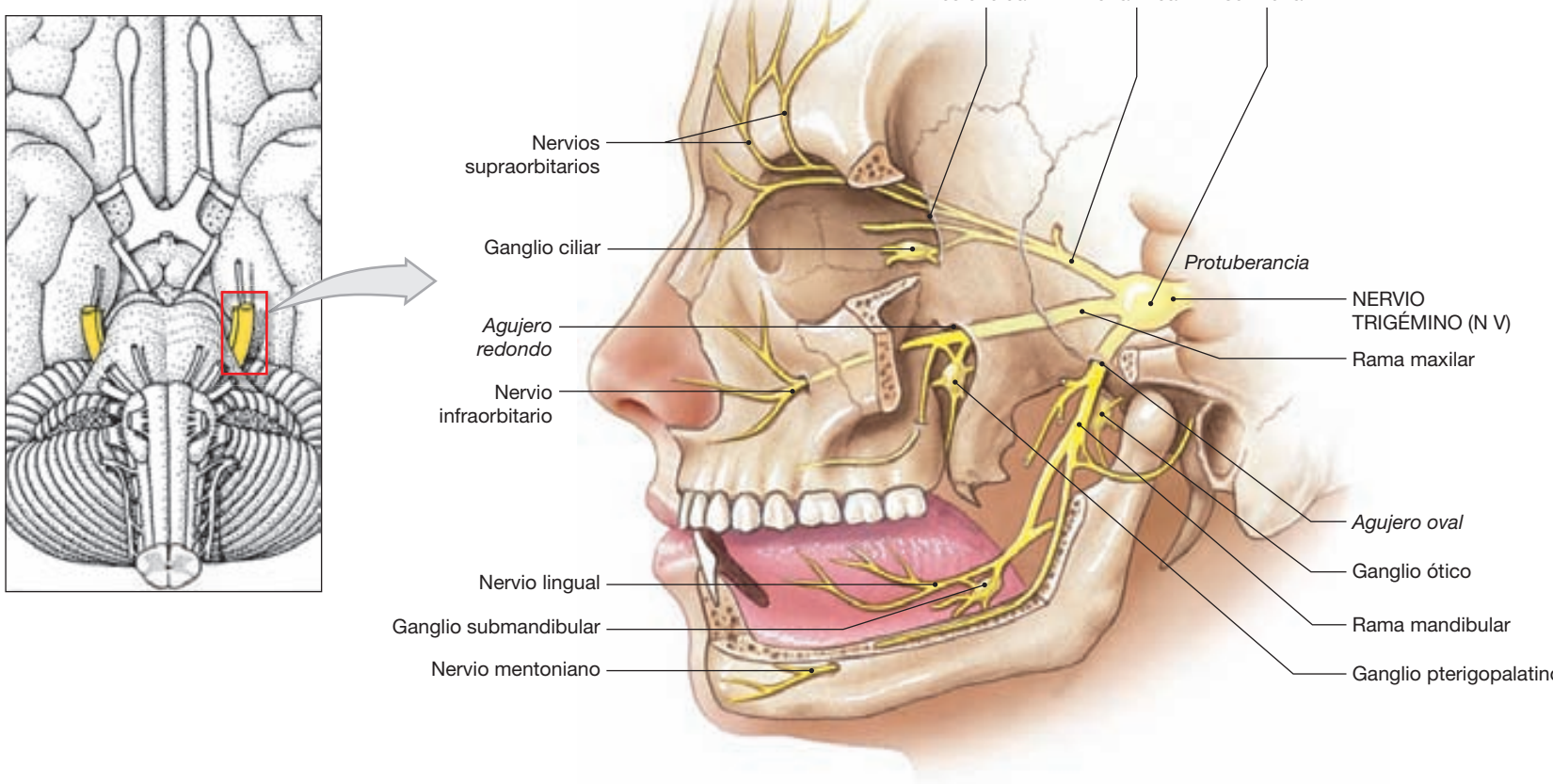


Figura 15.25 **Nervio trigémino**

mas posganglionares pueden viajar después con el nervio trigémino hasta las estructuras periféricas. El ganglio ciliar se comentó anteriormente (p. 420), y los otros ganglios se detallarán en breve con las ramas del *nervio facial* (N VII).

Nota clínica

Tic doloroso El **tic doloroso** afecta a uno de cada 25.000 individuos. Los que lo padecen refieren dolor intenso, casi totalmente debilitante, desencadenado por el contacto con el labio, la lengua o las encías. El dolor aparece de forma súbita, con una intensidad tremenda y después desaparece. Generalmente sólo está afectado un lado de la cara. Otro nombre para este trastorno es **neuralgia del trigémino,** ya que son las ramas maxilar y mandibular de N V las que inervan las áreas sensitivas. Este trastorno generalmente afecta a adultos por encima de los 40 años de edad; la causa es desconocida. A menudo el dolor puede controlarse de forma transitoria mediante tratamiento farmacológico, pero finalmente pueden requerirse procedimientos quirúrgicos. El objetivo de la cirugía es la destrucción de los nervios sensitivos que llevan la sensibilidad dolorosa. Pueden destruirse seccionando realmente el nervio, un procedimiento denominado **rizotomía** (*rhiza*, raíz), o inyectando sustancias químicas como alcohol o fenol en el nervio en el agujero oval y redondo. Las fibras sensitivas también pueden destruirse insertando un electrodo y cauterizando los troncos nerviosos sensitivos cuando salen del ganglio semilunar.

Nervio abducens (nervio motor ocular externo) (N VI) [v. figuras 15.21/15.24]

Función principal: motor, movimientos oculares.
Origen: protuberancia.
Pasa a través de: hendidura esfenoidal del esfenoides [p. 149].
Destino: músculo recto lateral [p. 267].

El **nervio abducens** inerva el recto lateral, el sexto de los músculos extrínsecos oculares. La inervación de este músculo hace posibles los movimientos laterales del globo ocular. El nervio sale de la superficie inferior del encéfalo en el límite entre la protuberancia y el bulbo raquídeo (**v. figura 15.21**). Alcanza la órbita a través de la hendidura esfenoidal en compañía del nervio oculomotor y troclear (**v. figura 15.24**).

Nervio facial (N VII) [v. figuras 15.21/15.26]

Función principal: mixto (sensitivo y motor).
Origen: sensitivo en los receptores gustativos de los dos tercios anteriores de la lengua; motor en los núcleos motores de la protuberancia.
Pasa a través de: conducto auditivo interno del hueso temporal, a lo largo de todo el conducto del facial para alcanzar el agujero estilomastoideo [p. 149].
Destino: *sensitivo* a los núcleos sensitivos de la protuberancia.
Motor somático: músculos de la expresión facial [p. 264].

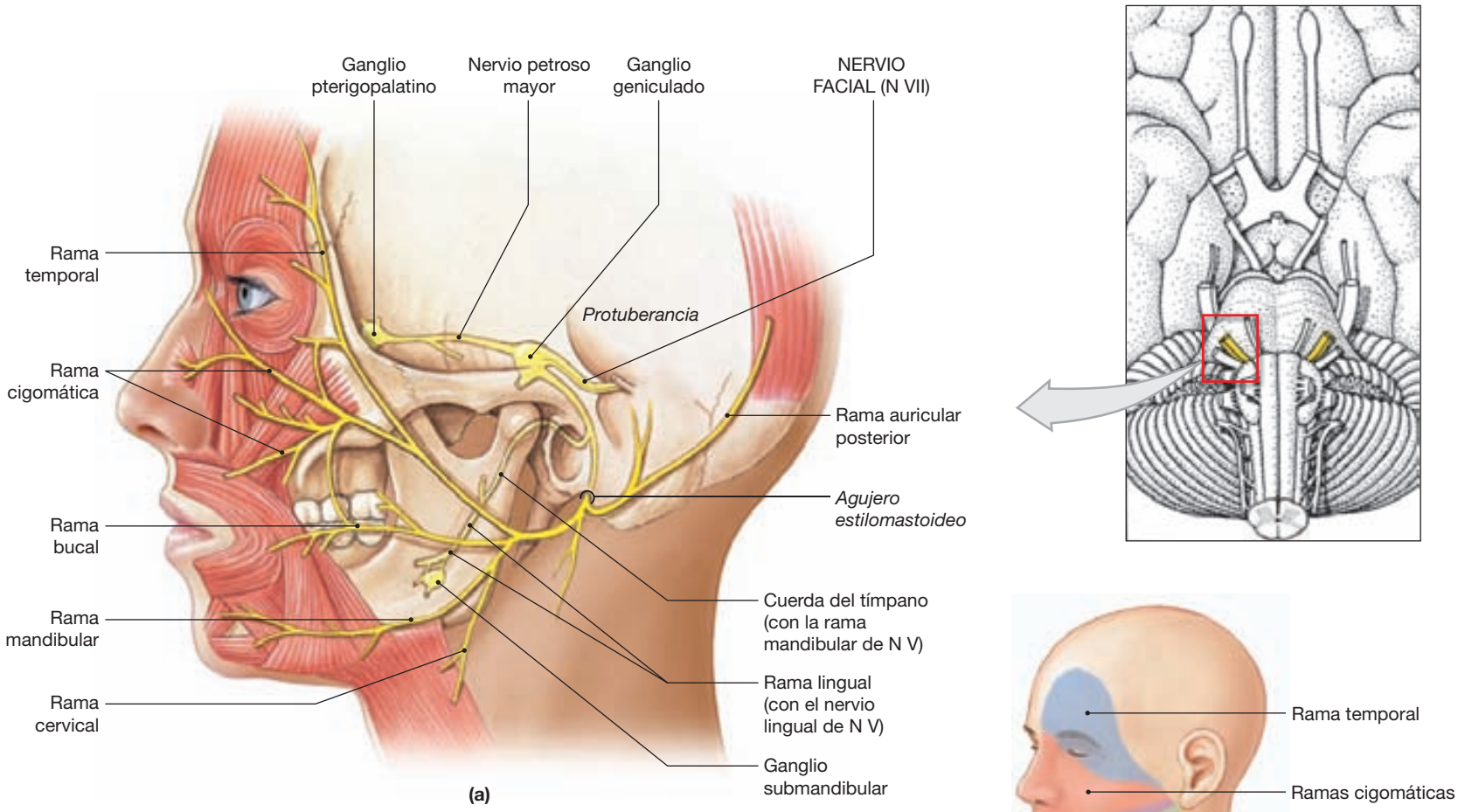


Figura 15.26 Nervio facial
(a) Origen y ramas del nervio facial. **(b)** Distribución superficial de las cinco principales ramas del nervio facial.

Motor visceral: glándula lagrimal (lágrimas) y glándulas mucosas nasales a través del ganglio pterigopalatino; glándulas salivares submandibular y sublingual a través del ganglio submandibular.

El **nervio facial** es un nervio mixto. Los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas se localizan en el **ganglio geniculado** y los núcleos motores están en la protuberancia (v. figura 15.21). Las raíces sensitiva y motora se combinan para formar un gran nervio que pasa a través del conducto auditivo interno del hueso temporal (v. figura 15.26). Después el nervio pasa por el conducto del facial para alcanzar la cara a través del agujero estilomastoideo [p. 139]. Las neuronas sensitivas controlan los propiorreceptores de los músculos faciales, proporcionan la sensibilidad a la presión profunda en la cara y reciben información gustativa de los receptores de los dos tercios anteriores de la lengua. Las fibras motoras somáticas controlan los músculos superficiales de la calota y la cara y los músculos profundos cerca del oído.

El nervio facial lleva fibras autónomas preganglionares a los ganglios pterigopalatino y submandibular.

- **Ganglio pterigopalatino:** El *nervio petroso mayor* inerva el ganglio pterigopalatino. Las fibras posganglionares que salen de este ganglio inervan la glándula lagrimal y las pequeñas glándulas de la cavidad nasal y la faringe.

Nota clínica

Parálisis de Bell La **parálisis de Bell** se produce por la inflamación del nervio facial que probablemente está relacionada con una infección vírica. La afectación del nervio facial (N VII) puede deducirse de los síntomas de parálisis de los músculos faciales en el lado afectado y la pérdida de sensibilidad gustativa en los dos tercios anteriores de la lengua. El individuo no muestra déficits sensitivos importantes, y el trastorno suele ser indoloro. En la mayoría de los casos, la parálisis de Bell «se cura por sí misma» después de unas pocas semanas o meses pero este proceso puede acelerarse mediante el tratamiento precoz con corticoesteroides y fármacos antivirales.

- **Ganglio submandibular:** Para alcanzar el ganglio submandibular, las fibras autónomas salen del nervio facial y viajan a lo largo de la rama mandibular del nervio trigémino. Las fibras posganglionares de este ganglio inervan las *glándulas salivares submandibular* y *sublingual* (*sub*, debajo + *lingua*, lengua).

Nervio vestibulococlear (nervio estatoacústico) (N VIII) [v. figuras 15.21/15.27]

Función principal: sensitivo especial: equilibrio (rama vestibular) y audición (rama coclear).
Origen: receptores del oído interno (vestíbulo y cóclea).
Pasa a través de: conducto auditivo interno del hueso temporal [p. 149].
Destino: núcleos vestibulares y cocleares de la protuberancia y el bulbo raquídeo [pp. 410, 515].

El **nervio vestibulococlear** también se conoce como el *nervio acústico* y el *nervio auditivo*. Nosotros usaremos el término vestibulococlear porque indica los nombres de sus dos ramas principales: la *rama vestibular* y la *rama coclear*. El nervio vestibulococlear se sitúa lateral al origen del nervio facial, a horcajadas en el límite entre la protuberancia y el bulbo raquídeo (v. figuras 15.21 y 15.27). Este nervio alcanza los receptores sensitivos del oído interno entrando en el conducto auditivo interno en compañía del nervio facial. En el nervio vestibulococlear existen dos haces diferenciados de fibras sensitivas. El **nervio vestibular** (*vestibulum*, cavidad) es el más grande de los dos haces. Se origina en los receptores del *vestíbulo*, la porción del oído interno relacionada con la sensación de equilibrio. Las neuronas sensitivas se localizan en un ganglio sensitivo adyacente y sus axones se dirigen hacia los **núcleos vestibulares** del bulbo raquídeo. Estos aferentes llevan la información relacionada con la posición, el movimiento y el equilibrio.

El **nervio coclear** (*cochlea*, caracol) controla los receptores de la cóclea que proporcionan el sentido del oído. Las células nerviosas se localizan en un ganglio periférico, y sus axones hacen sinapsis en los **núcleos cocleares** del bulbo raquídeo. Los axones que salen de los núcleos vestibulares y cocleares transmiten la información sensitiva a otros centros o inician respuestas motoras reflejas. El equilibrio y el sentido de la audición se tratarán en el capítulo 18.

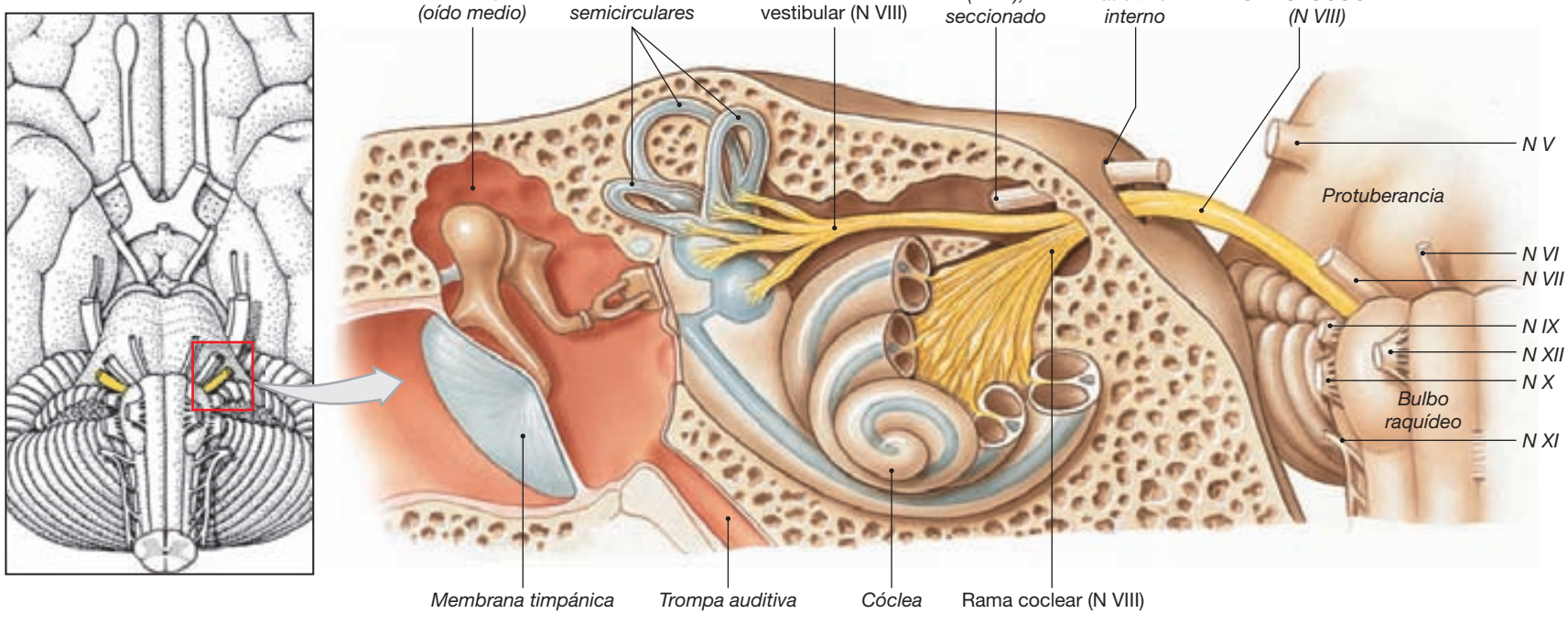


Figura 15.27 **Nervio vestibulococlear**

Nervio glosofaríngeo (N IX)

[v. figuras 15.21/15.28]

Función principal: mixto (sensitivo y motor).
Origen: sensitivo en el tercio posterior de la lengua, parte de la faringe y el paladar, las arterias carótidas en el cuello; motor en los núcleos motores del bulbo raquídeo.
Pasa a través de: agujero yugular entre los huesos occipital y temporal [p. 149].
Destino: fibras sensitivas a los núcleos sensitivos del bulbo raquídeo.
Motor somático: músculos faríngeos implicados en la deglución.
Motor visceral: glándula salivar parotídea, después de hacer sinapsis en el ganglio ótico.

Además del núcleo vestibular de N VIII, el bulbo raquídeo contiene los núcleos sensitivos y motores del noveno, décimo, undécimo y duodécimo nervios craneales. El **nervio glosofaríngeo** (*glossum*, lengua) inerva la lengua y la faringe. El nervio glosofaríngeo atraviesa el cráneo por el agujero yugular en compañía de N X y N XI (**v. figuras 15.21** y **15.28**).

El glosofaríngeo es un nervio mixto, pero las fibras sensitivas son más abundantes. Las neuronas sensitivas están en el **ganglio superior** *(ganglio yugular)* y el **ganglio inferior** *(ganglio petroso)*[3]. Las fibras aferentes llevan información sensitiva general de la mucosa de la faringe y el paladar blando a un núcleo del bulbo raquídeo. El nervio glosofaríngeo también transmite la sensibilidad gustativa del tercio posterior de la lengua y tiene receptores especiales que controlan la presión sanguínea y las concentraciones de gases disueltos en los principales vasos sanguíneos.

Las fibras motoras somáticas controlan los músculos faríngeos implicados en la deglución. Las fibras motoras viscerales hacen sinapsis en el *ganglio ótico*, y las fibras posganglionares inervan la glándula salivar parotídea de la mejilla.

[3] Los nombres de los ganglios asociados con el N IX y el N X varían de una bibliografía a otra. El N IX tiene un *ganglio superior*, también denominado el *ganglio yugular*, y un *ganglio inferior*, también llamado el *ganglio petroso*. El N X también tiene dos ganglios principales, un *ganglio superior*, o *ganglio yugular*, y un *ganglio inferior*, o *ganglio nodoso*. La *Terminología Anatómica* recomienda los nombres *superior* e *inferior*.

Nervio vago (N X) [v. figuras 15.21/15.29]

Función principal: mixto (sensitivo y motor).
Origen: *sensitivo visceral* en la faringe (parte), oreja, conducto auditivo externo, diafragma y vísceras de la cavidad torácica y abdominopélvica.
Motor visceral en los núcleos motores del bulbo raquídeo.
Pasa a través de: agujero yugular entre los huesos occipital y temporal [p. 149].
Destino: fibras sensitivas a los núcleos sensitivos y centros autónomos del bulbo raquídeo.
Motor somático a los músculos del paladar y la faringe.
Motor visceral a los órganos respiratorios, cardiovasculares y digestivos de la cavidad torácica y abdominal.

El **nervio vago** se origina inmediatamente inferior al nervio glosofaríngeo (**v. figura 15.21**). A su formación contribuyen muchas pequeñas raicillas y los estudios sobre el desarrollo indican que este nervio probablemente representa la fusión de varios nervios craneales más pequeños durante nuestra evolución. Como sugiere su nombre (*vagus*, trotamundos), el nervio vago se ramifica e irradia de forma extensa. La **figura 15.29** muestra sólo el patrón general de distribución.

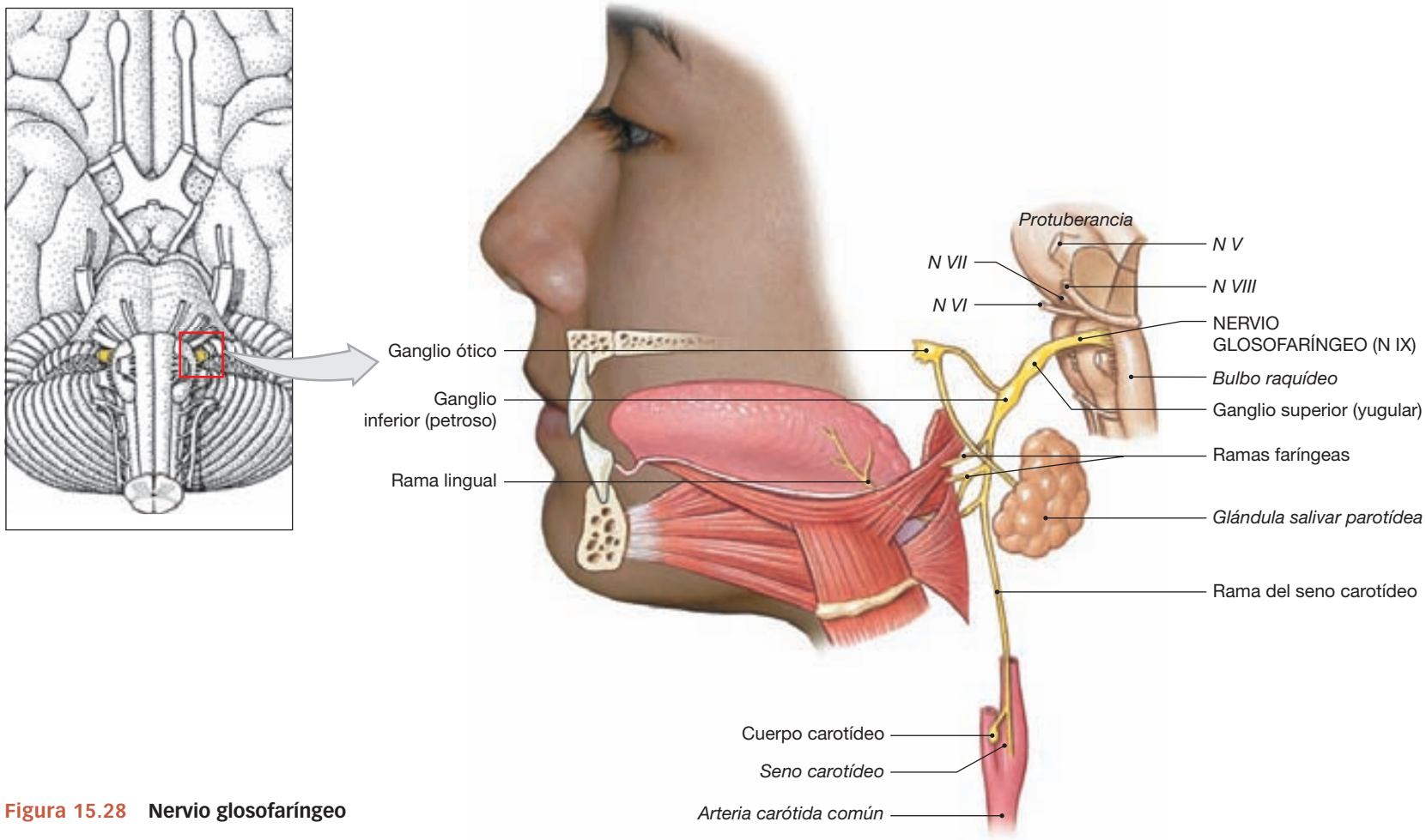


Figura 15.28 **Nervio glosofaríngeo**

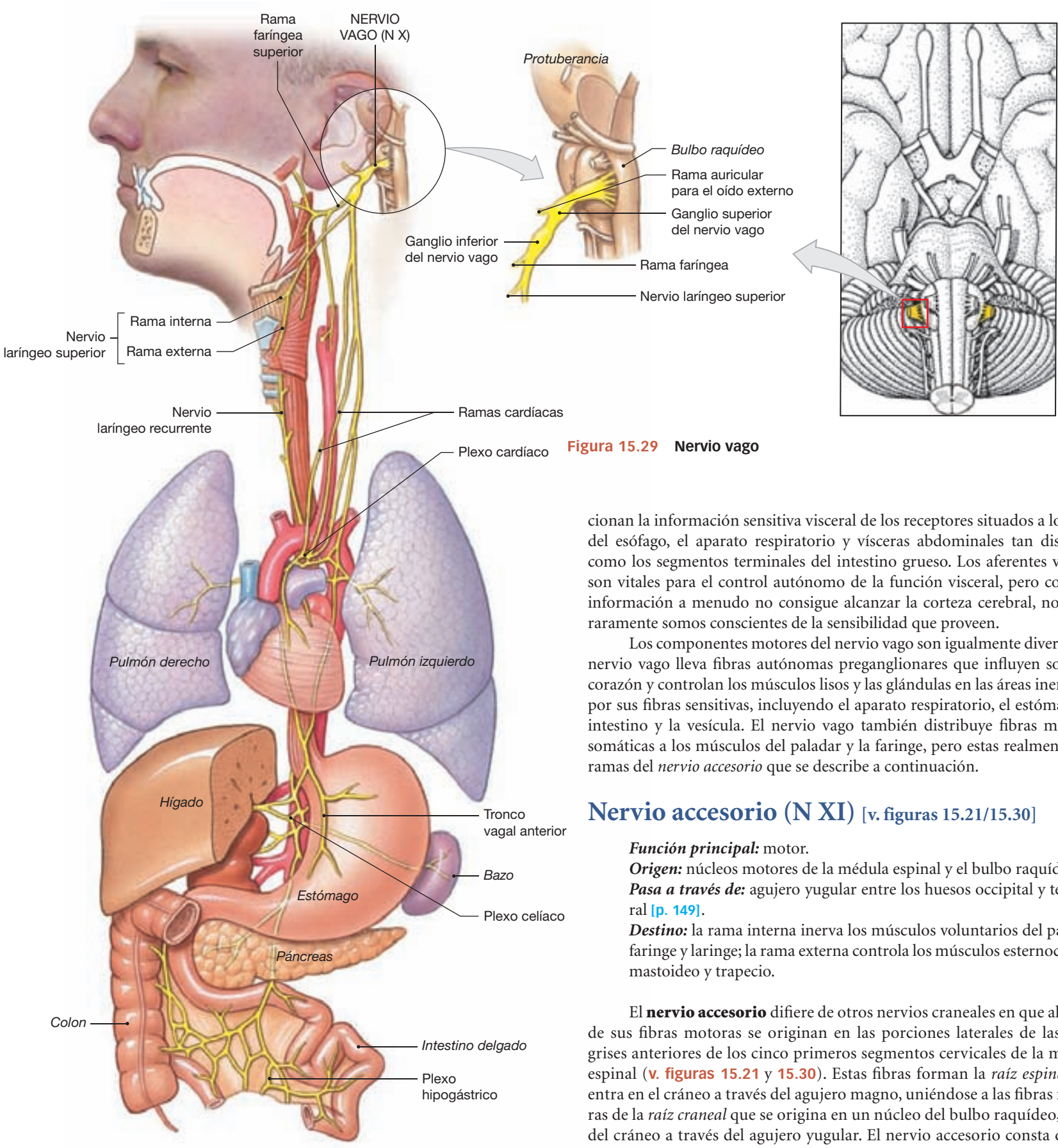


Figura 15.29 **Nervio vago**

Las neuronas sensitivas se localizan en el **ganglio superior,** o *ganglio yugular*, y en el **ganglio inferior,** o *ganglio nodoso*. El nervio vago proporciona la información sensitiva somática correspondiente al conducto auditivo externo, una porción del oído, el diafragma y la información sensitiva especial de los receptores gustativos faríngeos. Pero la mayoría de los aferentes vagales proporcionan la información sensitiva visceral de los receptores situados a lo largo del esófago, el aparato respiratorio y vísceras abdominales tan distantes como los segmentos terminales del intestino grueso. Los aferentes vagales son vitales para el control autónomo de la función visceral, pero como la información a menudo no consigue alcanzar la corteza cerebral, nosotros raramente somos conscientes de la sensibilidad que proveen.

Los componentes motores del nervio vago son igualmente diversos. El nervio vago lleva fibras autónomas preganglionares que influyen sobre el corazón y controlan los músculos lisos y las glándulas en las áreas inervadas por sus fibras sensitivas, incluyendo el aparato respiratorio, el estómago, el intestino y la vesícula. El nervio vago también distribuye fibras motoras somáticas a los músculos del paladar y la faringe, pero estas realmente son ramas del *nervio accesorio* que se describe a continuación.

Nervio accesorio (N XI) [v. figuras 15.21/15.30]

Función principal: motor.
Origen: núcleos motores de la médula espinal y el bulbo raquídeo.
Pasa a través de: agujero yugular entre los huesos occipital y temporal [p. 149].
Destino: la rama interna inerva los músculos voluntarios del paladar, faringe y laringe; la rama externa controla los músculos esternocleidomastoideo y trapecio.

El **nervio accesorio** difiere de otros nervios craneales en que algunas de sus fibras motoras se originan en las porciones laterales de las astas grises anteriores de los cinco primeros segmentos cervicales de la médula espinal (v. figuras 15.21 y 15.30). Estas fibras forman la *raíz espinal* que entra en el cráneo a través del agujero magno, uniéndose a las fibras motoras de la *raíz craneal* que se origina en un núcleo del bulbo raquídeo, y sale del cráneo a través del agujero yugular. El nervio accesorio consta de dos ramas:

1. La **rama interna** se une al nervio vago e inerva los músculos voluntarios de la deglución del paladar blando y la faringe y los músculos intrínsecos que controlan las cuerdas vocales.
2. La **rama externa** controla los músculos esternocleidomastoideo y trapecio del cuello y la espalda [pp. 271, 286]. Las fibras motoras de esta rama se originan en las astas grises anteriores de C_1 a C_5.

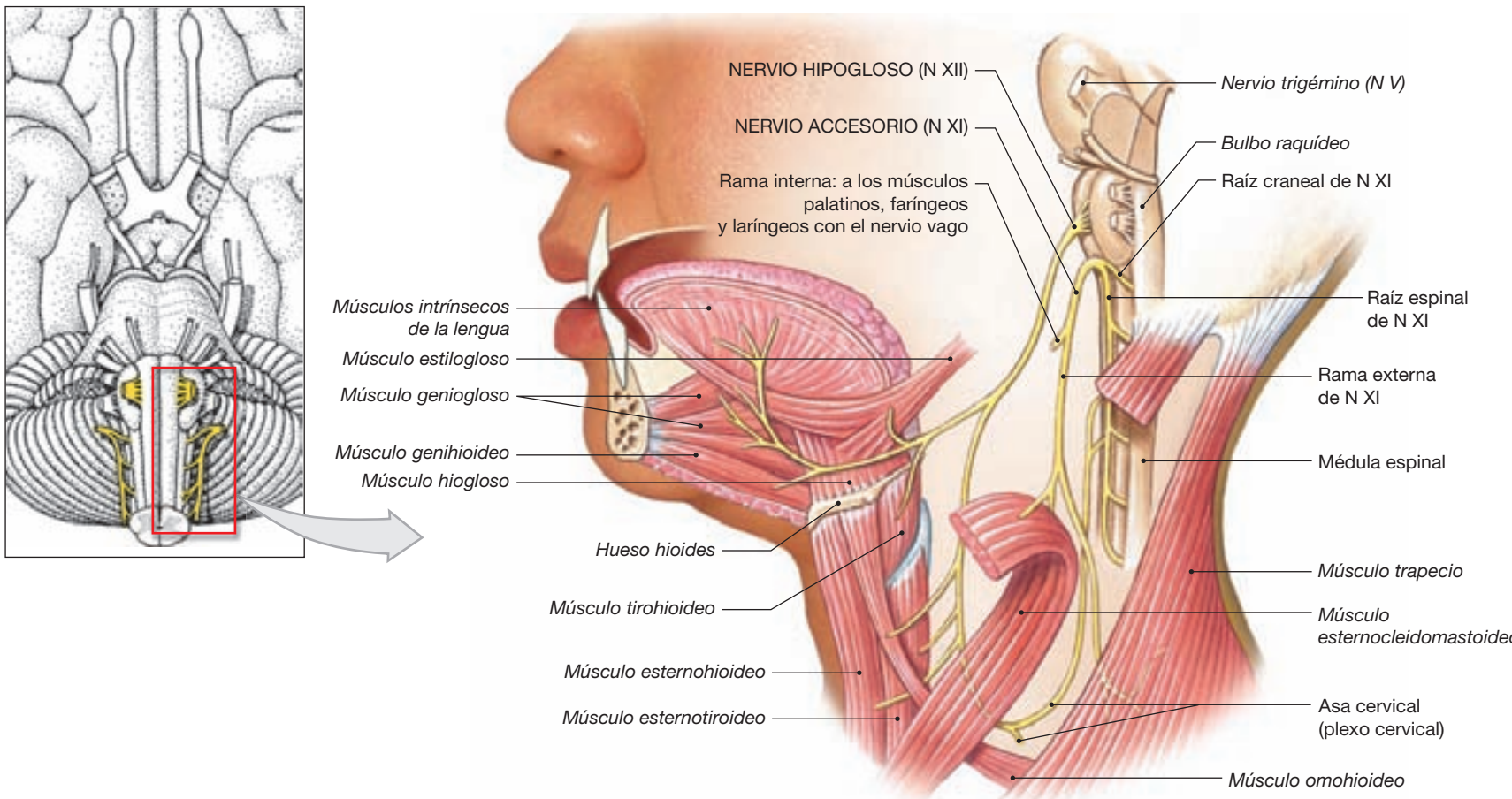


Figura 15.30 **Nervios accesorio e hipogloso**

Nervio hipogloso (N XII) [v. figuras 15.21/15.30]

Función principal: Motor, movimientos de la lengua.
Origen: Núcleos motores del bulbo raquídeo.
Pasa a través de: Conducto del hipogloso del hueso occipital [p. 149].
Destino: Músculos de la lengua [p. 269].

El **nervio hipogloso** sale del cráneo a través del conducto del hipogloso del hueso occipital. Después se curva inferiormente, anteriormente y luego superiormente para alcanzar los músculos estriados de la lengua (v. figuras 15.21 y 15.30). Este nervio proporciona control motor voluntario sobre los movimientos de la lengua.

Resumen de las ramas y funciones de los nervios craneales

Pocas personas son capaces de recordar los nombres, numeración y funciones de los nervios craneales sin dificultad. Existen procedimientos mnemotécnicos que pueden resultar útiles. En la tabla 15.12 se detalla en resumen la distribución y función básica de cada nervio craneal.

TABLA 15.13 Reflejos cerebrales

Reflejo	Estímulo	Aferentes	Sinapsis central	Eferentes	Respuesta
REFLEJOS SOMÁTICOS					
Reflejo corneal	Contacto con la superficie corneal	N V (trigémino)	Núcleos motores de N VII (nervio facial)	N VII	Parpadeo
Reflejo timpánico	Sonido intenso	N VIII (vestibulococlear)	Colículos inferiores (cerebro medio)	N VII	Reducción del movimiento de los huesecillos del oído
Reflejos auditivos	Sonido intenso	N VIII	Núcleos motores del tronco del encéfalo y la médula espinal	N III, IV, VI, VII, X, nervios cervicales	Movimientos oculares y/o cefálicos desencadenados por sonidos súbitos
Reflejos vestíbulo-oculares	Rotación de la cabeza	N VIII	Núcleos motores que controlan los músculos extraoculares	N III, IV, VI	Movimiento opuesto de los ojos para estabilizar el campo de visión
REFLEJOS VISCERALES					
Reflejo directo a la luz	La luz que impacta en los fotorreceptores	N II (óptico)	Colículos superiores (cerebro medio)	N III (oculomotor)	Constricción de la pupila ipsolateral
Reflejo consensual a luz	La luz que impacta en los fotorreceptores	N II	Colículos superiores	N III	Constricción de la pupila contralateral

Nota clínica

Reflejos cerebrales Los **reflejos cerebrales** son arcos reflejos que incluyen las fibras sensitivas y motoras de los nervios craneales. En los capítulos posteriores se tratan ejemplos de reflejos cerebrales, y esta sección simplemente proporciona una revisión e introducción general.

La tabla 15.13 enumera ejemplos representativos de los reflejos cerebrales y sus funciones. Estos reflejos son clínicamente importantes porque proporcionan un método rápido y fácil para observar el estado de los nervios craneales y núcleos y tractos específicos del encéfalo.

Los reflejos somáticos cerebrales raramente son más complejos que los reflejos somáticos de la médula espinal. Esta tabla incluye cuatro reflejos somáticos: el *reflejo corneal*, el *reflejo timpánico*, el *reflejo auditivo* y el *reflejo vestíbulo-ocular*. Estos reflejos se usan con frecuencia para explorar la lesión de los nervios craneales o los centros de procesamiento implicados. El tronco del encéfalo contiene muchos centros reflejos que controlan la actividad motora visceral. Muchos de estos centros reflejos están en el bulbo raquídeo y pueden dirigir respuestas motoras viscerales muy complejas a los estímulos. Estos reflejos viscerales son esenciales para el control de la función respiratoria, digestiva y cardiovascular.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. John tiene problemas para mover la lengua. Su médico le dice que los problemas son debidos a presión sobre un nervio craneal. ¿Qué nervio craneal está afectado?
2. ¿Qué síntomas asociaría a la lesión del nervio abducens (N VI)?
3. Un golpe en la cabeza ha hecho que Julie pierda el equilibrio. ¿Qué nervio craneal y qué rama de ese nervio están más probablemente afectados?
4. Bruce ha perdido la capacidad para detectar los sabores con la punta de la lengua. ¿Qué nervio craneal está afectado?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del encéfalo y los nervios craneales véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

TÉRMINOS CLÍNICOS

ataxia: Alteración del equilibrio que en casos graves impide al individuo estar de pie sin ayuda; causada por problemas que afectan al cerebelo.

dismetría: Incapacidad para detener un movimiento en una posición precisa, predeterminada; a menudo conduce a un *temblor de intención* en el individuo afectado; generalmente refleja una disfunción cerebelosa.

enfermedad de Parkinson (parálisis agitante): Trastorno caracterizado por un incremento pronunciado del tono muscular, resultante de pérdida del control inhibitorio sobre las neuronas de los ganglios basales.

espasticidad: Trastorno caracterizado por movimientos voluntarios dubitativos y entrecortados y aumento del tono muscular.

hemorragia epidural: Trastorno que implica un sangrado en los espacios epidurales.

hemorragia subdural: Trastorno en el cual se acumula sangre entre la duramadre y la aracnoides.

hidrocefalia: También conocida como «agua en el encéfalo»; un trastorno en el cual el cráneo se expande para adaptarse a un exceso de líquido.

parálisis de Bell: Trastorno resultante de una inflamación del nervio facial; los síntomas incluyen parálisis de los músculos faciales en el lado afectado y pérdida de la sensibilidad gustativa en los dos tercios anteriores de la lengua.

temblor: Agitación de base de los miembros resultante de un «tira y afloja» entre los grupos musculares antagonistas.

tic doloroso, o neuralgia del trigémino: Trastorno de la rama maxilar y mandibular de N V caracterizado por dolor intenso, casi totalmente debilitante, desencadenado por el contacto con el labio, la lengua o las encías.

traumatismo craneal: Lesión de la cabeza resultante de un contacto violento con otro objeto. El traumatismo craneal puede causar una conmoción, trastorno caracterizado por una pérdida transitoria de conciencia y un período variable de amnesia.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 387

1. El encéfalo es mucho más complejo que la médula espinal; su complejidad le hace adaptable pero más lento en la respuesta que los reflejos medulares.

Introducción a la organización del encéfalo 387

Embriología del encéfalo 387

1. El encéfalo se forma a partir de tres dilataciones en el extremo superior del tubo neural en desarrollo: el **prosencéfalo, mesencéfalo** y **romboencéfalo** *(v. tabla 15.1 y Resumen de embriología, pp. 388, 777-778)*.

Regiones y referencias principales 387

2. En el encéfalo del adulto existen seis regiones: el cerebro, el diencéfalo, el mesencéfalo, la protuberancia, el cerebelo y el bulbo raquídeo *(v. figura 15.1)*.
3. El pensamiento consciente, las funciones intelectuales, la memoria y los patrones motores complejos se originan en el **cerebro** *(v. figura 15.1)*.
4. El techo del **diencéfalo** es el **epitálamo;** las paredes son los **tálamos,** que contienen los centros de transmisión y procesamiento de los datos sensitivos. El suelo es el **hipotálamo,** que contiene centros implicados en las emociones, la función autónoma y la producción de hormonas *(v. figura 15.1)*.
5. El **mesencéfalo** procesa la información visual y auditiva y genera respuestas motoras somáticas involuntarias *(v. figura 15.1)*.
6. La **protuberancia** conecta el cerebelo con el tronco del encéfalo y está implicada en el control motor somático y visceral. El **cerebelo** ajusta las actividades motoras voluntarias e involuntarias basándose en los datos sensitivos y en los recuerdos almacenados *(v. figura 15.1)*.
7. La médula espinal conecta con el encéfalo en el **bulbo raquídeo,** que transmite la información sensitiva y regula las funciones autónomas *(v. figura 15.1)*.

Organización de la sustancia gris y la sustancia blanca 389

8. El encéfalo contiene extensas áreas de **corteza nerviosa,** una capa de sustancia gris en las superficies del cerebro y el cerebelo que cubre la sustancia blanca subyacente.

Ventrículos del encéfalo 389

9. El conducto central del encéfalo se expande para formar cámaras denominadas **ventrículos.** El *líquido cefalorraquídeo (LCR)* circula continuamente desde los ventrículos y el conducto central de la médula espinal hacia el espacio subaracnoideo de las meninges que rodean el SNC *(v. figuras 15.2/15.13)*.

Protección y soporte del encéfalo 389

Meninges craneales 389

1. Las **meninges craneales, duramadre**, **aracnoides** y **piamadre,** se continúan con las mismas meninges espinales que rodean la médula espinal. Sin embargo, tienen diferencias anatómicas y funcionales *(v. figuras 15.3/15.4)*.
2. Los pliegues de la duramadre estabilizan la posición del encéfalo en el cráneo e incluyen la **hoz del cerebro**, la **tienda del cerebelo**, la **hoz del cerebelo** y el **diafragma de la silla** *(v. figuras 15.3/15.4)*.

Barrera hematoencefálica 391

3. La **barrera hematoencefálica** aísla el tejido nervioso de la circulación general.
4. La barrera hematoencefálica permanece intacta en todo el SNC excepto en porciones del hipotálamo, en la glándula pineal y en el plexo coroideo del techo membranoso del diencéfalo y el bulbo.

Líquido cefalorraquídeo 394

5. El líquido cefalorraquídeo (LCR): 1) sirve de almohadillado de las delicadas estructuras nerviosas; 2) sujeta el encéfalo, y 3) transporta nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho.
6. El **plexo coroideo** es el lugar de producción del líquido cefalorraquídeo *(v. figura 15.5)*.
7. El líquido cefalorraquídeo alcanza el espacio subaracnoideo a través de los **agujeros laterales** y un **agujero medio.** La difusión a través de las **granulaciones aracnoideas** del **seno sagital superior** devuelve el LCR a la circulación venosa *(v. figuras 15.4/15.6)*.
8. La barrera hematoencefálica aísla el tejido nervioso de la circulación general.

Irrigación del encéfalo 395

9. La sangre arterial alcanza el encéfalo a través de las *arterias carótidas internas* y las *arterias vertebrales*. La sangre venosa sale principalmente por las *venas yugulares internas*.

Cerebro 396

Hemisferios cerebrales 396

1. La superficie cortical contiene **circunvoluciones** (crestas elevadas) separadas por **surcos** (depresiones estrechas) o hendiduras más profundas **(cisuras).** La **cisura longitudinal** separa los dos **hemisferios cerebrales.** El **surco central** marca el límite entre el **lóbulo frontal** y el **lóbulo parietal.** Otros surcos forman los límites del **lóbulo temporal** y el **lóbulo occipital** *(v. figuras 15.1/15.8/15.9)*.
2. Cada hemisferio cerebral recibe información sensitiva del otro lado del cuerpo y genera órdenes motoras para el mismo. Existen diferencias funcionales significativas entre los dos; por tanto, la asignación de una función específica a una región específica de la corteza cerebral es imprecisa.
3. La **corteza motora primaria** de la **circunvolución precentral** dirige los movimientos voluntarios. La **corteza sensitiva primaria** de la **circunvolución postcentral** recibe la información sensitiva somática de los receptores del tacto, la presión, el gusto y la temperatura *(v. figura 15.9 y tabla 15.2)*.
4. Las **áreas de asociación,** como el **área de asociación visual** y el **área de asociación motora somática (corteza premotora),** controlan nuestra capacidad para comprender la información sensitiva. Los centros de integración «superiores» reciben la información de muchas áreas de asociación diferentes y dirigen actividades motoras y funciones analíticas complejas *(v. figura 15.9 y tabla 15.2)*.

Sustancia blanca central 400

5. La **sustancia blanca central** contiene tres grupos principales de axones: 1) **fibras de asociación** (tractos que interconectan las áreas de la corteza nerviosa de un mismo hemisferio cerebral); 2) **fibras comisurales** (tractos que conectan los dos hemisferios cerebrales), y 3) **fibras de proyección** (tractos que relacionan el cerebro con otras regiones del encéfalo y la médula espinal) *(v. figura 15.10 y tabla 15.3)*.

Núcleos basales 401

6. Los **núcleos basales** incluidos dentro de la sustancia blanca central incluyen el **núcleo caudado,** el **cuerpo amigdalino**, el **claustro,** el **putamen** y el **globo pálido.** Los ganglios basales controlan el tono muscular y la coordinación de los patrones de movimiento aprendidos y otras actividades motoras somáticas *(v. figura 15.11 y tabla 15.4)*.

Sistema límbico 401

7. El **sistema límbico** incluye el cuerpo amigdalino, la **circunvolución del cíngulo,** la **circunvolución dentada,** la **circunvolución del parahipocampo,** el **hipocampo** y el **fórnix.** Los **cuerpos mamilares** controlan los movimientos reflejos asociados con la alimentación. Las funciones del sistema límbico incluyen los estados emocionales y los impulsos conductuales relacionados *(v. figuras 15.12/15.15 y tabla 15.5)*.
8. El **núcleo anterior** transmite la sensibilidad visceral, y la estimulación de la **formación reticular** produce una intensificación del estado de alerta y una excitación generalizada.

Diencéfalo 405

1. El diencéfalo proporciona los centros de intercambio y transmisión necesarios para integrar las vías sensitivas y motoras *(v. figuras 15.12/15.15)*.

Epitálamo 405

2. El epitálamo forma el techo del diencéfalo. Contiene la *glándula pineal* secretora de hormonas.

Tálamo 405

3. El tálamo es el punto de relevo principal y final de la información sensitiva ascendente y coordina las actividades motoras somáticas voluntarias e involuntarias *(v. figuras 15.11b/15.12/15.13/15.15b y tabla 15.6)*.

Hipotálamo 406

4. El hipotálamo contiene importantes centros de control e integración. Puede: 1) controlar las actividades motoras somáticas involuntarias; 2) controlar la función autónoma; 3) coordinar las actividades de los sistemas nervioso y endocrino; 4) secretar hormonas; 5) producir emociones e impulsos de la conducta; 6) coordinar funciones voluntarias y autónomas; 7) regular la temperatura corporal, y 8) controlar los ciclos de actividad circadiana *(v. figuras 15.12/15.13/15.14/15.15a y tabla 15.7)*.

Mesencéfalo 410

1. El ***tectum*** (techo) del mesencéfalo contiene dos pares de núcleos, los **tubérculos cuadrigéminos.** A cada lado, el **colículo superior** recibe los impulsos visuales del tálamo, y el **colículo inferior** recibe los datos auditivos del bulbo raquídeo. El **núcleo rojo** integra la información del cerebro y envía órdenes motoras involuntarias relacionadas con el tono muscular y la posición del miembro. La **sustancia negra** regula las eferencias motoras de los ganglios basales. Los **pedúnculos cerebrales** contienen fibras ascendentes dirigidas a los núcleos talámicos y fibras descendentes de la vía corticoespinal que llevan las órdenes motoras voluntarias desde la corteza motora primaria de cada hemisferio cerebral *(v. figuras 15.15/15.16/15.17b y tabla 15.8)*.

Protuberancia 410

1. La protuberancia contiene: 1) los núcleos sensitivos y motores de cuatro nervios craneales; 2) los núcleos relacionados con el control involuntario de la respiración; 3) los núcleos que procesan y transmiten las órdenes cerebelosas que llegan con los pedúnculos cerebelosos medios, y 4) tractos ascendentes, descendentes y transversos *(v. figuras 15.1/15.15/15.16/15.18 y tabla 15.9)*.

Cerebelo 412

1. El cerebelo supervisa los músculos posturales del cuerpo y programa y ajusta los movimientos voluntarios e involuntarios. Los **hemisferios cerebelosos** constan de corteza nerviosa constituida en pliegues o **láminas.** La superficie puede dividirse en **lóbulos anterior** y **posterior, vermis** y **lóbulos floculonodulares** *(v. figuras 15.1/15.8/15.9/15.15/15.19 y tabla 15.10)*.

Bulbo raquídeo 414

1. El bulbo raquídeo conecta el encéfalo con la médula espinal. Contiene el **núcleo grácil** y el **núcleo cuneiforme,** que son centros de procesamiento, y los **núcleos olivares,** que transmiten la información de la médula espinal, la corteza cerebral y el tronco del encéfalo a la corteza cerebelosa. Sus **centros reflejos,** incluyendo los **centros cardiovasculares** y los **centros de ritmicidad respiratoria,** controlan o ajustan las actividades de los sistemas periféricos *(v. figuras 15.1/15.8/15.15/15.16/15.18 y tabla 15.11)*.

Nervios craneales 416

1. Existen 12 pares de nervios craneales. Cada nervio se une al encéfalo cerca de los núcleos sensitivos o motores asociados en la superficie ventrolateral del encéfalo *(v. figura 15.21)*.

Nervio olfativo (N I) 418

2. El **tracto** (nervio) **olfativo** (N I) lleva la información sensitiva responsable del sentido del olfato. Los aferentes olfativos hacen sinapsis en los **bulbos olfativos** *(v. figura 15.22)*.

Nervio óptico (N II) 419

3. El **nervio óptico** (N II) lleva la información visual desde los receptores sensitivos especiales en los ojos *(v. figura 15.23)*.

Nervio oculomotor (N III) 420

4. El **nervio oculomotor** (N III) es la principal fuente de inervación de los músculos extraoculares que mueven el globo ocular *(v. figura 15.24)*.

Nervio troclear (N IV) 420

5. El **nervio troclear** (N IV), el nervio craneal más pequeño, inerva el músculo oblicuo superior del ojo *(v. figura 15.24)*.

Nervio trigémino (N V) 421

6. El **nervio trigémino** (N V), el nervio craneal más grande, es un nervio mixto con las **ramas oftálmica, maxilar** y **mandibular** *(v. figura 15.25)*.

Nervio abducens (N VI) 422

7. El **nervio abducens** (N VI) inerva el sexto músculo oculomotor extrínseco, el recto lateral *(v. figura 15.24)*.

Nervio facial (N VII) 422

8. El **nervio facial** (N VII) es un nervio mixto que controla los músculos de la calota y la cara. Proporciona la sensibilidad a la presión en la cara y recibe la información gustativa de la lengua *(v. figura 15.26)*.

Nervio vestibulococlear (N VIII) 423

9. El **nervio vestibulococlear** (N VIII) contiene el **nervio vestibular,** que controla la sensación de equilibrio, posición y movimiento, y el **nervio coclear,** que controla los receptores auditivos *(v. figura 15.27)*.

Nervio glosofaríngeo (N IX) 424

10. El **nervio glosofaríngeo** (N IX) es un nervio mixto que inerva la lengua y la faringe y controla la acción de la deglución *(v. figura 15.28)*.

Nervio vago (N X) 424

11. El **nervio vago** (N X) es un nervio mixto que es vital para el control autónomo de la función visceral y tiene una variedad de componentes motores *(v. figura 15.29)*.

Nervio accesorio (N XI) 425

12. El **nervio accesorio** (N XI) tiene una **rama interna,** que inerva los músculos voluntarios de la deglución del paladar blando y la faringe, y una **rama externa,** que controla músculos asociados a la cintura pectoral *(v. figura 15.30)*.

Nervio hipogloso (N XII) 426

13. El **nervio hipogloso** (N XII) proporciona control motor voluntario sobre los movimientos de la lengua *(v. figura 15.30)*.

Resumen de las ramas y funciones de los nervios craneales 426

14. Las ramas y funciones de los nervios craneales están resumidos en la *tabla 15.12*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. mesencéfalo	a. corteza visual
___ 2. mielencéfalo	b. patrones motores aprendidos
___ 3. tienda del cerebelo	c. mesencéfalo
___ 4. nervio abducens	d. motor, movimientos de la lengua
___ 5. diencéfalo	e. tercer ventrículo
___ 6. lóbulo occipital	f. motor, movimientos oculares
___ 7. nervio hipogloso	g. transmisión de la información sensitiva
___ 8. ganglios basales	h. bulbo raquídeo
___ 9. tálamo	i. células de Purkinje
___10. cerebelo	j. separa cerebro/cerebelo

11. En contraste con las del encéfalo, las respuestas de los reflejos medulares:
    (a) están ajustadas de forma precisa
    (b) son inmediatas
    (c) requieren muchos pasos de procesamiento
    (d) son estereotipadas

12. La principal conexión entre el sistema nervioso y endocrino es:
    (a) el hipotálamo (b) la protuberancia
    (c) el mesencéfalo (d) el bulbo raquídeo

13. Los vasos sanguíneos craneales pasan a través del espacio directamente profundo a:
    (a) la duramadre (b) la piamadre
    (c) las granulaciones aracnoideas (d) la aracnoides

14. Los únicos nervios craneales unidos al cerebro son los:
    (a) ópticos (b) oculomotores
    (c) trocleares (d) olfativos

15. Los núcleos anteriores del tálamo:
    (a) son parte del sistema límbico
    (b) están conectados a la hipófisis
    (c) producen la hormona melatonina
    (d) reciben impulsos del nervio óptico

16. La corteza inferior al surco lateral es el:
    (a) lóbulo parietal (b) lóbulo temporal
    (c) lóbulo frontal (d) lóbulo occipital

17. Situados en cada hemisferio, inferiores al suelo de los ventrículos laterales están:
    (a) las comisuras anteriores (b) las áreas de asociación motoras
    (c) la corteza auditiva (d) los ganglios basales

18. Los haces de fibras nerviosas en la superficie ventrolateral del mesencéfalo son:
    (a) el tegmento
    (b) los tubérculos cuadrigéminos
    (c) los pedúnculos cerebrales
    (d) los colículos superiores

19. Los tractos eferentes del hipotálamo:
    (a) controlan las actividades motoras involuntarias
    (b) controlan la función autónoma
    (c) coordinan las actividades del sistema nervioso y endocrino
    (d) todas las anteriores

20. Los componentes diencefálicos del sistema límbico incluyen:
    (a) el lóbulo límbico y el hipocampo
    (b) el fórnix
    (c) el cuerpo amigdalino y la circunvolución del parahipocampo
    (d) el tálamo y el hipotálamo

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. La ingurgitación de la vena yugular cuando sale del cráneo, ¿cuál de los siguientes nervios craneales comprimiría?
    (a) N I, IV, V
    (b) N IX, X, XI
    (c) N II, IV, VI
    (d) N VIII, IX, XII

2. El trastorno de dismetría a menudo indica una lesión de ¿qué región encefálica?
    (a) cerebelo
    (b) lóbulos frontales del cerebro
    (c) protuberancia
    (d) bulbo raquídeo

3. Si se lesiona o existe un trastorno, ¿qué parte del encéfalo haría a una persona incapaz de controlar y regular la frecuencia de los movimientos respiratorios?
    (a) el centro neumotáxico de la protuberancia
    (b) el centro de ritmicidad respiratoria del bulbo
    (c) el núcleo olivar del bulbo raquídeo
    (d) los pedúnculos cerebrales del mesencéfalo

4. ¿Qué lóbulo y área específica del encéfalo estaría afectada si uno no pudiera recortar dibujos en una cartulina?

5. Los impulsos de los propiorreceptores deben pasar a través de núcleos específicos antes de llegar a su destino en el encéfalo. ¿Cuáles son los núcleos y cuál es el destino de esta información?

6. ¿Qué núcleos están más probablemente implicados en el movimiento coordinado de la cabeza en la dirección de un sonido intenso?

7. ¿Qué nervios craneales son responsables de todos los aspectos de la función ocular?

8. Si un individuo tiene un escaso control emocional y dificultad para recordar hechos pasados, ¿qué área del encéfalo podría estar dañada o tener una lesión?

9. ¿Qué región del encéfalo proporciona conexiones entre los hemisferios cerebelosos y el mesencéfalo, el diencéfalo, el cerebro y la médula espinal?

10. ¿Por qué la barrera hematoencefálica está menos intacta en el hipotálamo?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Poco después del nacimiento, la cabeza de un lactante comienza a crecer rápidamente. ¿Qué está ocurriendo, por qué y existe una explicación clínica y una solución a este problema?

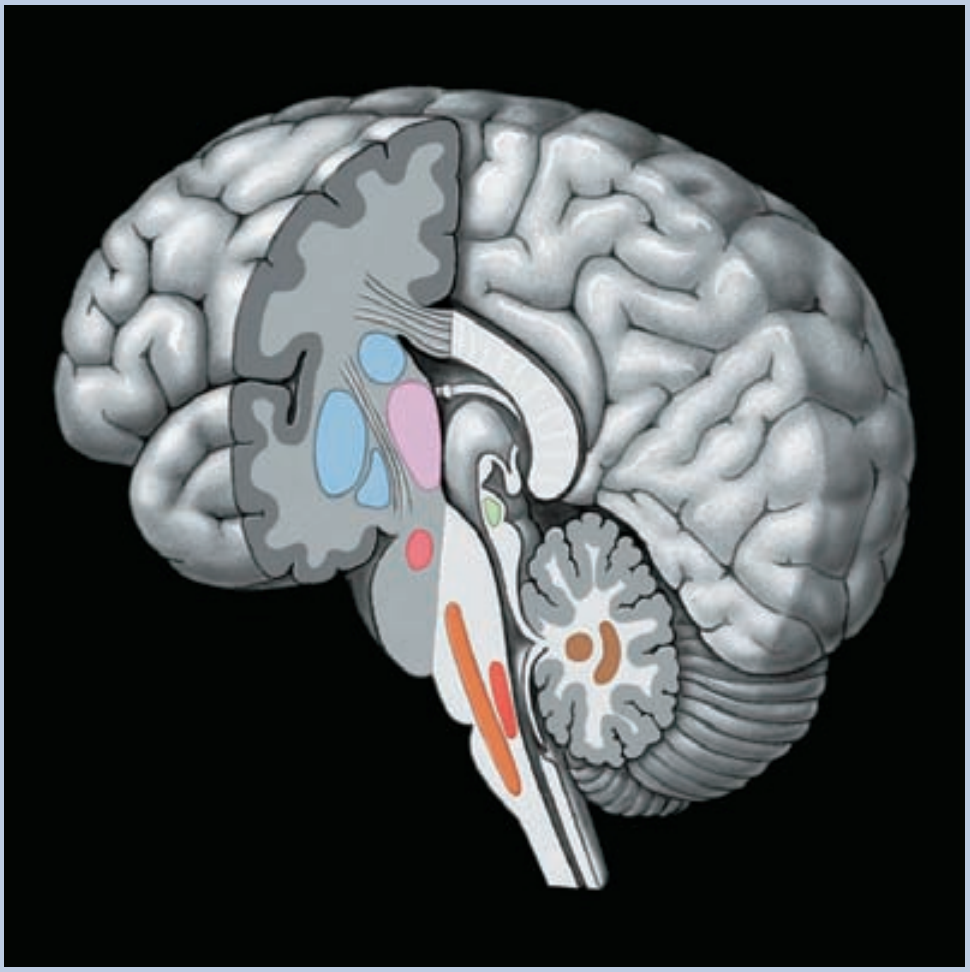
2. Rose se despertó una mañana y descubrió que su cara estaba paralizada en el lado izquierdo y que no tenía sentido del gusto en los dos tercios anteriores de la lengua en el mismo lado. ¿Cuál es la causa de estos síntomas y qué puede hacerse para ayudar a Rose en esta situación?

3. Si una persona que ha sufrido una lesión craneal se desmaya varios días después de que ocurra el incidente, ¿qué sospecharías que es la causa del problema y cuán serio podría ser?

16

Sistema nervioso

Vías y funciones superiores



Introducción 432

Vías motoras y sensitivas 432

Funciones superiores 443

Envejecimiento y sistema nervioso 447

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las funciones de las neuronas de primero, segundo y tercer orden.
2. Identificar y describir las principales vías sensitivas.
3. Identificar y describir las vías corticoespinal, medial y lateral.
4. Describir las estructuras anatómicas que nos permiten distinguir la sensibilidad que se origina en las diferentes áreas del cuerpo.
5. Identificar los centros del encéfalo que interaccionan para determinar las eferencias motoras somáticas.
6. Identificar y describir las áreas de integración de la corteza cerebral y explicar sus funciones generales.
7. Describir las diferencias funciones significativas entre los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho.
8. Identificar y describir las regiones y estructuras del encéfalo implicadas en el almacenamiento y recuperación de la memoria.
9. Explicar la estructura del sistema activador reticular y cómo mantiene la conciencia.
10. Resumir los efectos del envejecimiento sobre el sistema nervioso.

Se dice que «las grandes ciudades nunca duermen». En Chicago o Los Ángeles a las 3 de la madrugada las tiendas están abiertas, se hacen repartos, la gente está en la calle y el tráfico se mueve de forma dinámica. El sistema nervioso central es mucho más complejo que cualquier ciudad y está mucho más ocupado. Existe un flujo continuo de información entre el encéfalo, la médula espinal y los nervios periféricos. En cualquier momento dado, millones de neuronas sensitivas están transmitiendo información a los centros de procesamiento del SNC, y millones de neuronas motoras están controlando o ajustando las actividades de los efectores periféricos. Este proceso continúa las 24 horas del día, estemos despiertos o dormidos. Tu mente consciente puede dormir profundamente, pero muchos centros del tronco del encéfalo están activos toda nuestra vida, realizando funciones autónomas vitales a nivel subconsciente.

Existen muchas formas sutiles de interacción, retroalimentación y regulación que conectan los centros superiores con los diferentes componentes del tronco del encéfalo. Sólo unos pocos son conocidos con cierto detalle. En este capítulo nos centraremos en el diseño anatómico que permite a las estructuras nerviosas realizar las operaciones sensitivas y motoras, así como otras funciones encefálicas superiores, como el aprendizaje y la memoria.

Vías motoras y sensitivas

La comunicación entre el SNC, el SNP y los órganos y sistemas periféricos incluye vías que transmiten la información sensitiva y motora entre la periferia y los centros superiores del encéfalo. Cada vía ascendente (sensitiva) o descendente (motora) consta de una cadena de tractos y núcleos asociados. El procesamiento generalmente tiene lugar en varios puntos a lo largo de una vía, dondequiera que las sinapsis envíen señales de una neurona a otra. El número de sinapsis varía de una vía a otra. Por ejemplo, una vía sensitiva que termina en la corteza cerebral incluye tres neuronas, mientras que una vía sensitiva que termina en el cerebelo incluye dos neuronas. Nuestra atención se centrará en las vías relacionadas con los principales tractos sensitivos y motores de la médula espinal. En general: estos tractos son pares (bilaterales y simétricos a lo largo de la médula espinal), y los axones de cada tracto se agrupan de acuerdo con la región corporal inervada. Todos los tractos incluyen tanto el encéfalo como la médula espinal, y el nombre de un tracto a menudo indica su origen y destino. Si el nombre empieza por *espino-*, el tracto debe *comenzar* en la médula espinal y *terminar* en el encéfalo; por ello debe llevar información sensitiva. La última parte del nombre indica un núcleo o región principal del encéfalo cerca del final de la vía. Por ejemplo, el *tracto espinocerebeloso* comienza en la médula espinal y termina en el cerebelo. Si el nombre termina en *–espinal*, el tracto debe *empezar* en el encéfalo y *terminar* en la médula espinal; lleva órdenes motoras. Una vez más, el inicio del nombre indica generalmente el origen del tracto. Por ejemplo, el *tracto vestibuloespinal* comienza en el núcleo vestibular y termina en la médula espinal.

Vías sensitivas [v. figuras 16.1/16.2 y tabla 16.1]

Los receptores sensitivos controlan las condiciones tanto en el interior del organismo como en el entorno externo. Cuando es estimulado, un receptor pasa la información al sistema nervioso central. Esta información, denominada **sensibilidad,** llega en forma de potenciales de acción con una fibra aferente (sensitiva). La complejidad de la respuesta a un estímulo particular depende en parte de dónde ocurre el procesamiento y de dónde se inicia la respuesta motora. Por ejemplo, el procesamiento en la médula espinal puede producir una respuesta motora estereotipada muy rápida, como un reflejo de estiramiento [p. 382]. Sin embargo, el procesamiento de la información sensitiva en el tronco del encéfalo puede dar lugar a actividades motoras más complejas, como cambios coordinados en la posición de los ojos, la cabeza, el cuello o el tronco. La mayor parte del procesamiento de la información sensitiva se produce en la médula espinal, el tálamo o el tronco del encéfalo; sólo un 1% aproximadamente de la información proporcionada por las fibras aferentes alcanza la corteza cerebral y nuestra percepción consciente. Sin embargo, la información que llega a la corteza sensitiva está organizada de modo que podamos determinar el origen y la naturaleza del estímulo con gran precisión. El capítulo 17 describe la distribución de la información sensitiva visceral y trata las respuestas reflejas a la sensibilidad visceral. El capítulo 18 examina el origen de la sensibilidad y las vías implicadas en la transmisión de la información sensitiva especial, como el olfato o la visión, hasta los centros de procesamiento consciente y subconsciente del encéfalo.

Describiremos tres vías sensitivas que transmiten la información sensitiva somática hasta la corteza sensitiva de los hemisferios cerebrales o cerebelosos. Estas vías incluyen una cadena de neuronas.

- Una **neurona de primer orden** es la neurona sensitiva que lleva la sensibilidad hasta el SNC; su cuerpo celular se localiza en un ganglio de la raíz dorsal o un ganglio de un nervio craneal.
- Una **neurona de segundo orden** es una interneurona con la que hace sinapsis el axón de la neurona de primer orden. El cuerpo celular de la neurona de segundo orden puede localizarse en la médula espinal o en el tronco del encéfalo.
- En las vías que terminan en la corteza cerebral, la neurona de segundo orden hace sinapsis con una **neurona de tercer orden** en el tálamo. El axón de la neurona de tercer orden lleva la información sensitiva desde el tálamo hasta el área sensitiva apropiada de la corteza cerebral.

En la mayoría de los casos, el axón de la neurona de primer orden o de segundo orden se cruza al lado opuesto de la médula espinal o del tronco del encéfalo cuando asciende. Como consecuencia de este cruzamiento, o *decusación,* la información sensitiva del lado izquierdo del cuerpo se entrega en el lado derecho del encéfalo, y viceversa. El significado funcional o evolutivo de esta decusación es desconocido. En dos de las vías sensitivas (la *vía de la columna posterior* y la *vía espinotalámica*), los axones de las neuronas de tercer orden ascienden en la cápsula interna para hacer sinapsis con las neuronas de la corteza sensitiva primaria del hemisferio cerebral. Puesto que la decusación se produjo a nivel de las neuronas de primer orden o de segundo orden, el hemisferio cerebral derecho recibe información sensitiva del lado izquierdo del cuerpo, y viceversa.

La tabla 16.1 identifica y resume las tres vías sensitivas somáticas principales, también llamadas *vías somatosensitivas*: 1) *la vía de la columna posterior;* 2) *la vía espinotalámica,* y 3) *la vía espinocerebelosa*. La **figura 16.1** indica su posición relativa en la médula espinal. Para una mayor claridad, la figura que trata sobre las vías espinales (**v. figura 16.2**) muestra cómo se transmite a la corteza cerebral la sensibilidad que se origina en un lado del cuerpo. Sin embargo, es importante recordar que estas vías están presentes en *ambos* lados del cuerpo.

Vía de la columna posterior [v. figura 16.2a]

La **vía de la columna posterior,** o *vía lemniscal medial* (**v. figura 16.2a**), lleva información muy localizada de la piel y el sistema musculoesquelético en relación con la sensibilidad propioceptiva (posición), táctil fina, a la presión y vibratoria. Esta vía también lleva información acerca del tipo de estímulo, el lugar exacto de estimulación y cuándo comienza y finaliza el estímulo. Por ello esta vía también proporciona información acerca del «qué», el «dónde» y el «cuándo» de estas sensaciones.

Los axones de las neuronas de primer orden alcanzan el SNC a través de las raíces dorsales de los nervios espinales y las raíces sensitivas de los nervios craneales. Los axones de las raíces dorsales de los nervios espinales ascienden en el **fascículo grácil** o el **fascículo cuneiforme,** haciendo sinapsis en el núcleo grácil o el núcleo cuneiforme del bulbo raquídeo. Después las neuronas de segundo orden transmiten la información al tálamo del lado opuesto del encéfalo a lo largo del tracto denominado **lemnisco medial** (*lemniskos*, cinta). La decusación tiene lugar a medida que los axones de las neuronas de segundo orden salen de los núcleos para entrar en el lemnisco medial. A medida que viaja hacia el tálamo, el lemnisco medial incorpora la misma clase de información sensitiva (tacto fino, presión y vibración) recogida por los nervios craneales V, VII, IX y X.

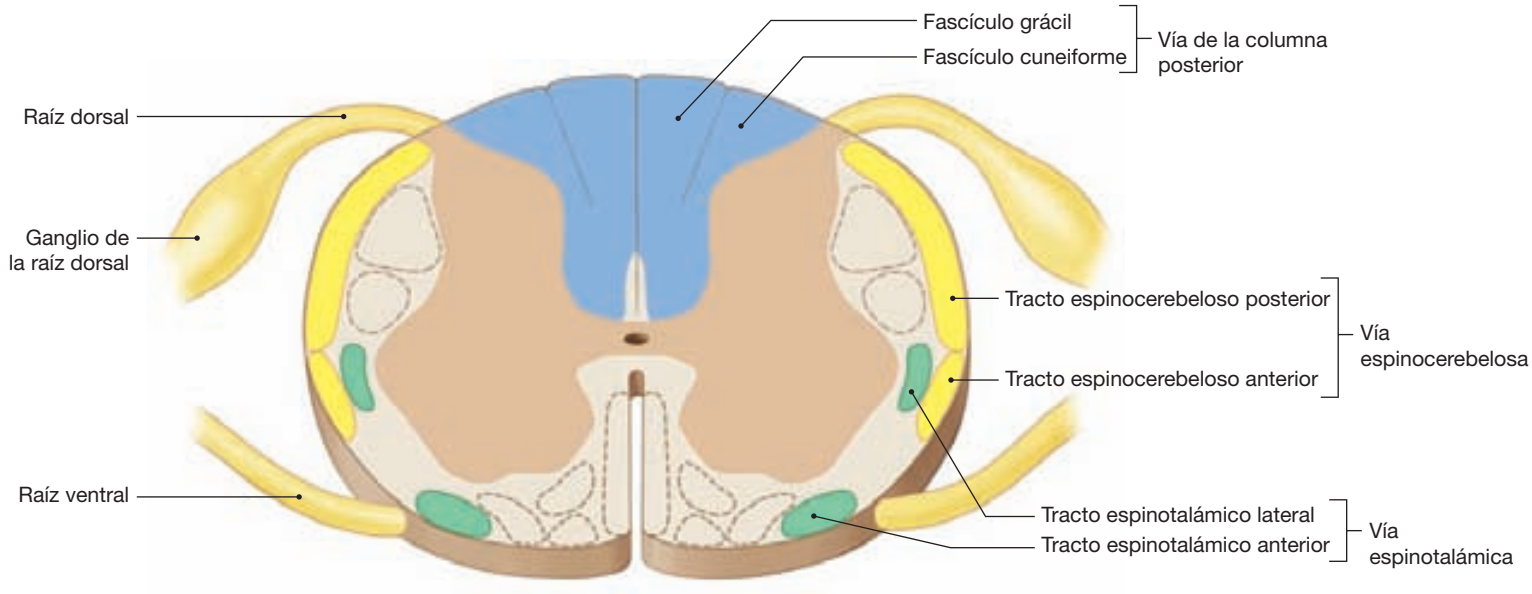


Figura 16.1 Vías y tractos ascendentes (sensitivos) en la médula espinal
Vista en una sección transversal que indica la localización de los principales tractos ascendentes (sensitivos) de la médula espinal. Para información sobre estos tractos, *véase tabla 16.1.* Los tractos descendentes (motores) se muestran con líneas de puntos; estos tractos se identifican en la *figura 16.4.*

TABLA 16.1 Principales vías ascendentes (sensitivas) y la información que proporcionan

Vía/tracto	Sensibilidad	Localización de los cuerpos celulares neuronales: Primer orden	Segundo orden	Tercer orden	Destino final	Lugar de cruzamiento
VÍA DE LA COLUMNA POSTERIOR						
Fascículo grácil	Propioceptiva, táctil fina, a la presión y vibratoria de la mitad inferior del cuerpo	Ganglios de la raíz dorsal de la parte inferior del cuerpo; los axones entran en el SNC en las raíces dorsales y ascienden en el fascículo grácil	Núcleo grácil del bulbo raquídeo; los axones se cruzan antes de entrar en el lemnisco medial	Núcleo ventral posterolateral del tálamo	Corteza sensitiva primaria del lado opuesto al estímulo	Axones de las neuronas de segundo orden antes de unirse al lemnisco medial
Fascículo cuneiforme	Propioceptiva, táctil fina, a la presión y vibratoria de la mitad superior del cuerpo	Ganglios de la raíz dorsal de la parte superior del cuerpo; los axones entran en el SNC en las raíces dorsales y ascienden en el fascículo cuneiforme	Núcleo cuneiforme del bulbo raquídeo; los axones se cruzan antes de entrar en el lemnisco medial	Núcleo ventral posterolateral del tálamo	Como el anterior	Como el anterior
VÍA ESPINOTALÁMICA						
Tractos espinotalámicos laterales	Sensibilidad dolorosa y térmica	Ganglios de la raíz dorsal; los axones entran en el SNC en las raíces dorsales y entran en el asta posterior	En el asta posterior; los axones entran en el tracto espinotalámico lateral	Núcleo ventral posterolateral del tálamo	Corteza sensitiva primaria del lado opuesto al estímulo	Axones de las neuronas de segundo orden, a nivel de su entrada
Tractos espinotalámicos anteriores	Sensibilidad táctil grosera y a la presión	Como los anteriores	En el asta posterior; los axones entran en el tracto espinotalámico anterior del lado opuesto	Como los anteriores	Como los anteriores	Como los anteriores
VÍA ESPINOCEREBELOSA						
Tractos espinocerebelosos posteriores	Propiocepción	Ganglios de la raíz dorsal; los axones entran en el SNC en las raíces dorsales	En el asta posterior; los axones entran en el tracto espinocerebeloso posterior del mismo lado	No existe	Corteza cerebelosa del lado del estímulo	Ninguno
Tractos espinocerebelosos anteriores	Propiocepción	Como los anteriores	En el mismo segmento medular; los axones entran en el tracto espinocerebeloso anterior del mismo lado o del opuesto	No existe	Corteza cerebelosa, principalmente del lado del estímulo	Los axones de la mayor parte de las neuronas de segundo orden se cruzan antes de entrar en el tracto y después se cruzan de nuevo en el cerebelo

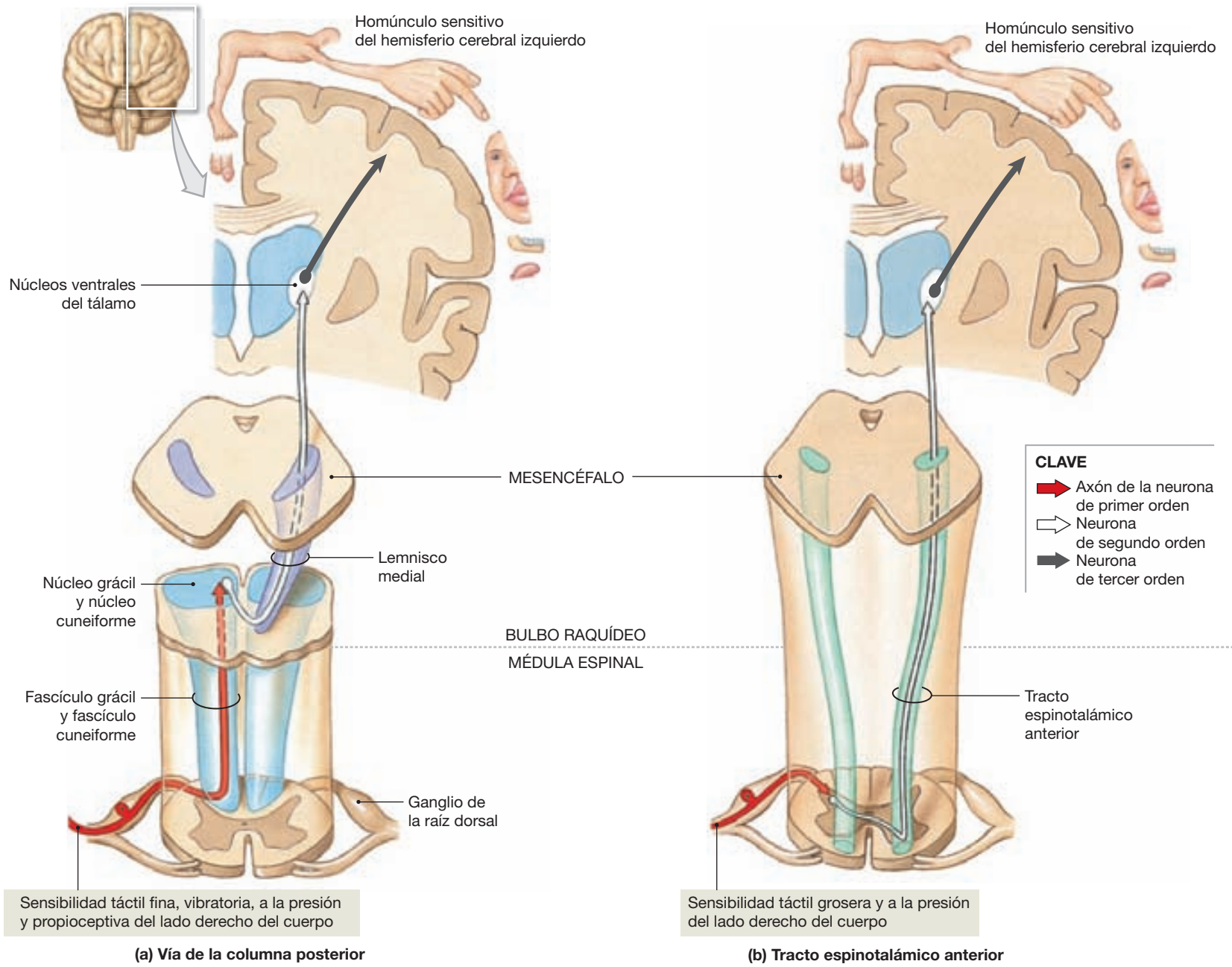
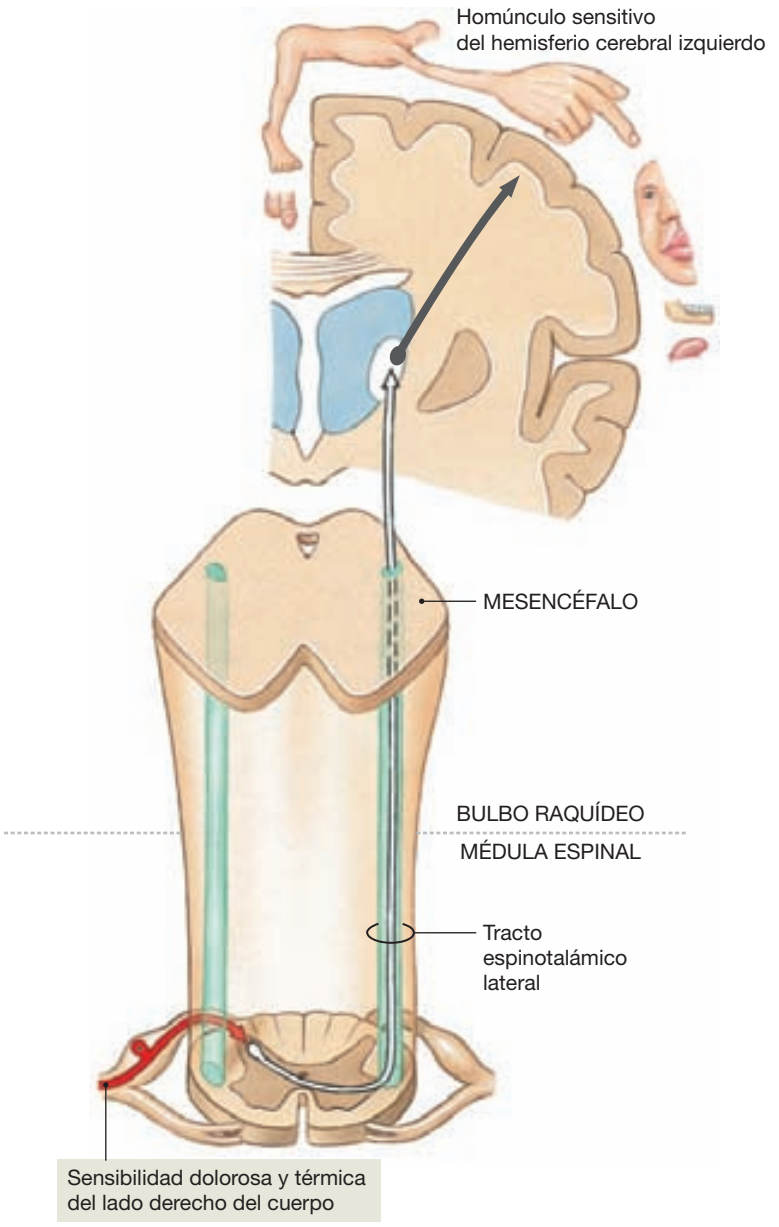

Homúnculo sensitivo del hemisferio cerebral izquierdo
Núcleos ventrales del tálamo
MESENCÉFALO
Lemnisco medial
Núcleo grácil y núcleo cuneiforme
BULBO RAQUÍDEO
MÉDULA ESPINAL
Fascículo grácil y fascículo cuneiforme
Ganglio de la raíz dorsal
Sensibilidad táctil fina, vibratoria, a la presión y propioceptiva del lado derecho del cuerpo
(a) Vía de la columna posterior
Homúnculo sensitivo del hemisferio cerebral izquierdo
CLAVE
Axón de la neurona de primer orden
Neurona de segundo orden
Neurona de tercer orden
Tracto espinotalámico anterior
Sensibilidad táctil grosera y a la presión del lado derecho del cuerpo
(b) Tracto espinotalámico anterior

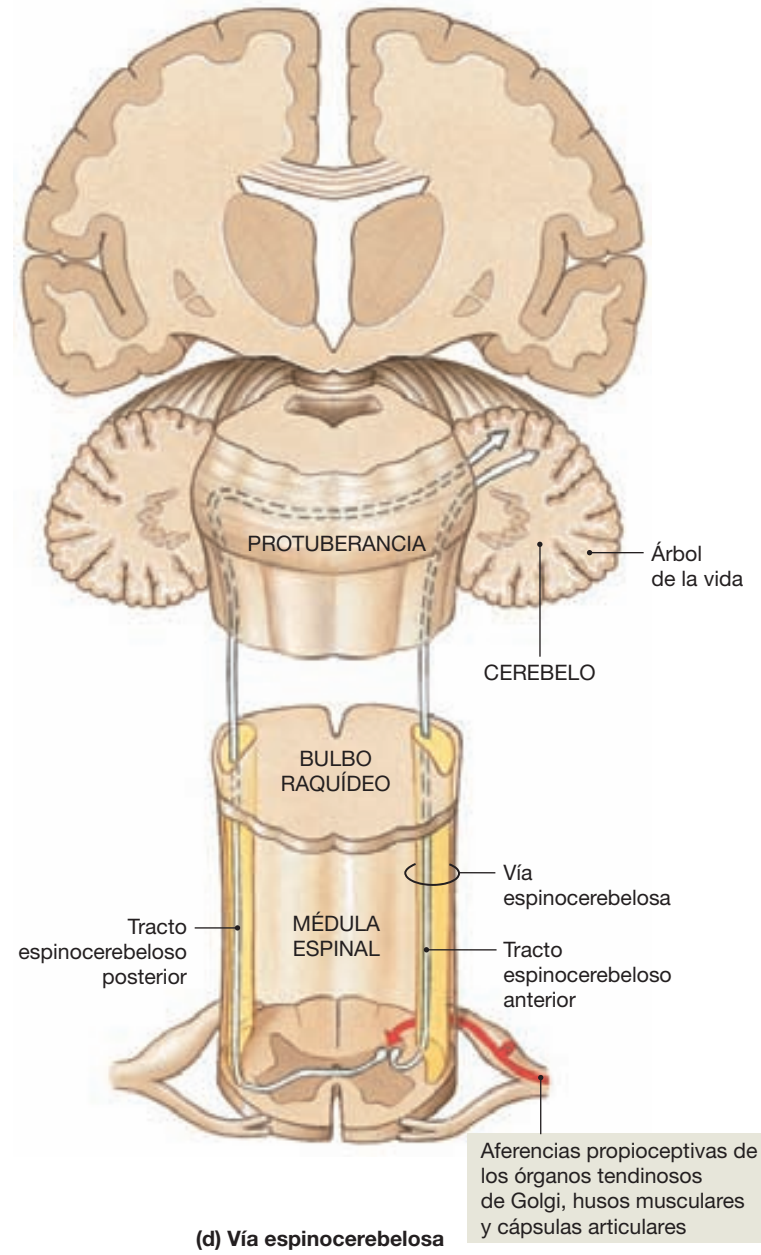
Figura 16.2 Vías sensitivas de la columna posterior, espinotalámica y espinocerebelosa
Comparación esquemática de las neuronas de primer, segundo y tercer orden en las vías ascendentes. Para mayor claridad, esta figura muestra sólo la vía para la sensibilidad que se origina en el lado derecho del cuerpo. **(a)** La vía de la columna posterior transmite la información relacionada con el tacto fino, la vibración y la propiocepción a la corteza sensitiva primaria del hemisferio cerebral del lado opuesto del cuerpo. El cruzamiento se produce en el bulbo, después de una sinapsis en el núcleo grácil o el núcleo cuneiforme. **(b)** El tracto espinotalámico anterior lleva la sensibilidad táctil grosera y a la presión a la corteza primaria sensitiva del lado opuesto del cuerpo. El cruzamiento se produce en la médula espinal a nivel de su entrada. **(c)** El tracto espinotalámico lateral lleva la sensibilidad al dolor y la temperatura a la corteza sensitiva primaria del lado opuesto del cuerpo. El cruzamiento se produce en la médula espinal, a nivel de la entrada. **(d)** La vía espinocerebelosa lleva la información propioceptiva al cerebelo. (A cada lado se detalla sólo un tracto, aunque cada lado tiene ambos tractos.)

La información sensitiva ascendente mantiene una estricta organización regional a lo largo de la vía de un centro a otro [p. 367]. La información sensitiva que entra en la médula espinal por debajo de T_6 viaja hasta el bulbo raquídeo en el fascículo grácil, mientras que la información sensitiva que entra en la médula espinal a nivel o por encima de T_6 viaja hasta el bulbo raquídeo en el fascículo cuneiforme. La información sensitiva de la vía de la columna posterior se integra en el núcleo ventral posterolateral del tálamo, que clasifica los datos de acuerdo con la región del cuerpo implicada y los proyecta a regiones específicas de la corteza sensitiva primaria. Los axones que llevan la información desde el tálamo hasta la corteza sensitiva se conocen en conjunto como *fibras de proyección*. Las sensaciones llegan con la información sensitiva desde los dedos de los pies a un extremo de la corteza sensitiva primaria y la información de la cabeza al otro.

El individuo «conoce» la naturaleza del estímulo y su localización porque la información se ha proyectado a una porción específica de la corteza sensitiva primaria. Si se transmitiera a otra parte de la corteza sensitiva, la sensación se percibiría como si se hubiera originado en una parte diferente del cuerpo. Por ejemplo, el dolor de un infarto de miocardio con frecuencia se siente en el brazo izquierdo; este es un ejemplo de dolor referido, un tema que se trata en el capítulo 18. Nuestra percepción de una sensación dada como táctil, en lugar de



(c) Tracto espinotalámico lateral



(d) Vía espinocerebelosa

Figura 16.2 ***(cont.)***

como térmica o dolorosa, depende de su procesamiento en el tálamo. Si se lesionara la corteza cerebral o se seccionaran las fibras de proyección, una persona aún podría ser consciente de un tacto ligero porque los núcleos talámicos continúan intactos. Sin embargo, el individuo sería incapaz de determinar su origen porque la localización es proporcionada por la corteza sensitiva primaria.

Si se estimula eléctricamente una zona de la corteza sensitiva primaria, el individuo refiere la percepción de sensaciones en una parte específica del cuerpo. Estimulando eléctricamente la superficie cortical, los investigadores han sido capaces de crear un mapa funcional de la corteza sensitiva primaria (v. figura 16.2a). Este mapa sensitivo se denomina **homúnculo** («hombre pequeño») **sensitivo.** Las proporciones del homúnculo son obviamente muy diferentes de las del individuo. Por ejemplo, la cara es enorme y está distorsionada, con labios y lengua muy grandes, mientras que la espalda es relativamente minúscula. Estas distorsiones ocurren porque el área de la corteza sensitiva dedicada a una región particular es proporcional no a su tamaño absoluto sino más bien al *número de receptores sensitivos* que contiene esa región. En otras palabras, se requieren muchas más neuronas corticales para procesar la información sensitiva que llega desde la lengua, que tiene decenas de miles de receptores gustativos y táctiles, que para analizar la sensibilidad que se origina en la espalda, donde los receptores táctiles son escasos y están distantes entre sí.

Vía espinotalámica [v. figura 16.2b,c]

La **vía espinotalámica** (v. figura 16.2b,c) conduce la sensibilidad al dolor y la temperatura y la sensibilidad táctil «grosera» y a la presión. Las neuronas espinotalámicas de primer orden entran en la médula espinal y hacen sinapsis en las astas posteriores. Los axones de las neuronas de segundo orden cruzan al lado opuesto de la médula espinal antes de ascender en los **tractos espinotalámicos anterior** y **lateral.** Estos tractos convergen en los núcleos ventrales posterolaterales del tálamo. Las fibras de proyección de las neuronas de tercer orden llevan después la información a la corteza sensitiva primaria. La tabla 16.1 resume el origen y destino de estos tractos y la sensibilidad asociada. Para mayor claridad, la figura 16.2 muestra la ruta de distribución de la sensibilidad táctil grosera y a la presión y de la sensibilidad dolorosa y térmica del lado derecho del cuerpo. Sin embargo, ambos lados de la médula espinal tienen tractos espinotalámicos anterior y lateral.

Vía espinocerebelosa [v. figura 16.2d]

La **vía espinocerebelosa** lleva la información propioceptiva relacionada con la posición de los músculos, tendones y articulaciones al cerebelo, que es responsable de la coordinación fina de los movimientos corporales. Los axones de las

neuronas sensitivas de primer orden hacen sinapsis con las neuronas de segundo orden de las astas posteriores de la médula espinal. Los axones de estas neuronas ascienden en los **tractos espinocerebelosos anterior** y **posterior** (v. figura 16.2d).

- Los axones que cruzan al lado opuesto de la médula espinal entran en el tracto espinocerebeloso anterior y ascienden hasta la corteza cerebelosa por medio del pedúnculo cerebeloso superior. Después estas fibras se decusan una segunda vez en el cerebelo para terminar en el cerebelo ipsolateral[1].
- El tracto espinocerebeloso posterior lleva axones que no cruzan al lado opuesto de la médula espinal. Estos axones ascienden a la corteza cerebelosa a través del pedúnculo cerebeloso inferior.

Puesto que las neuronas de la vía espinocerebelosa no hacen sinapsis en el tálamo, esta vía lleva información propioceptiva que será procesada a nivel subconsciente, en comparación con la información conducida a la corteza cerebral por la vía de la columna posterior.

La tabla 16.1 resume el origen y destino de estos tractos y la sensibilidad asociada.

[1] El tracto espinocerebeloso anterior también contiene un número relativamente pequeño de axones que no se cruzan y de axones que se decusan y terminan en el cerebelo contralateral.

Vías motoras [v. figuras 16.3/16.4]

El sistema nervioso central envía órdenes motoras en respuesta a la información que proporcionan los sistemas sensitivos. Estas órdenes se distribuyen a través del sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo. El *sistema nervioso somático (SNS)* envía órdenes motoras somáticas que dirigen las contracciones de los músculos estriados. El *sistema nervioso autónomo (SNA)*, o *sistema motor visceral*, inerva los efectores viscerales, como los músculos lisos, el músculo cardíaco y las glándulas.

Las neuronas motoras del SNS y del SNA están organizadas de forma diferente. Las vías motoras somáticas (v. figura 16.3a) siempre incluyen al menos dos neuronas motoras: una **neurona motora superior,** cuyo cuerpo celular se sitúa en un centro de procesamiento del SNC, y una **neurona motora inferior** localizada en un núcleo motor del tronco del encéfalo o la médula espinal. La actividad de la neurona motora superior puede excitar o inhibir a la neurona motora inferior, pero sólo el axón de la neurona motora inferior se extiende hasta las fibras musculares estriadas. La destrucción o lesión de una neurona motora inferior produce una parálisis fláccida de la unidad motora inervada. La lesión de una neurona motora superior puede producir rigidez muscular, flaccidez o contracciones descoordinadas.

En las vías del sistema nervioso autónomo (SNA) están implicadas al menos dos neuronas, y una de ellas siempre está localizada en la periferia

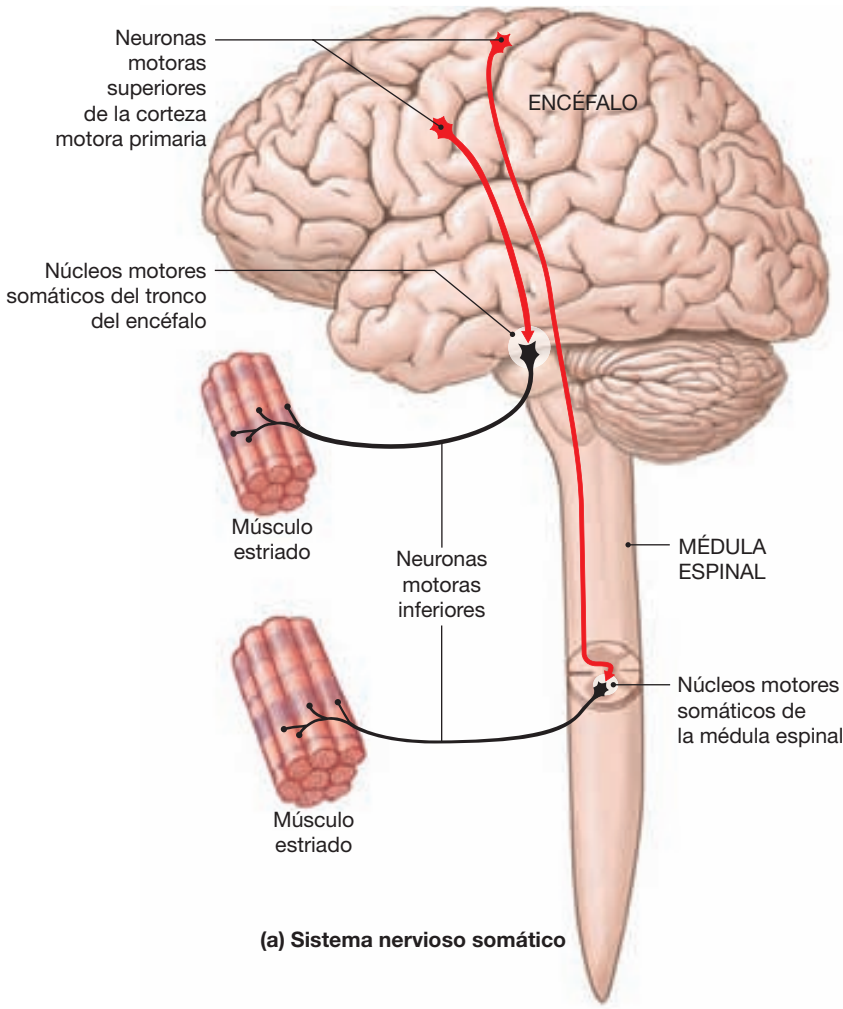


Figura 16.3 Vías motoras del SNC y el SNP

Organización del sistema nervioso somático y autónomo. **(a)** En el SNS, una neurona motora superior del SNC controla una neurona motora inferior del tronco del encéfalo o la médula espinal. El axón de la neurona motora inferior tiene un control directo sobre las fibras musculares estriadas. La estimulación de la neurona motora inferior siempre tiene un efecto excitatorio sobre las fibras del músculo estriado. **(b)** En el SNA, el axón de una neurona preganglionar del SNC controla las neuronas ganglionares de la periferia. La estimulación de las neuronas ganglionares puede conducir a excitación o inhibición del efector visceral inervado.

(v. figura 16.3b). El control motor autónomo incluye una **neurona preganglionar** cuyo cuerpo celular se sitúa en el SNC y una **neurona ganglionar** en un ganglio periférico. Los centros superiores del hipotálamo y de otros lugares del tronco del encéfalo pueden estimular o inhibir a la neurona preganglionar. Las vías motoras del SNA se describirán en el capítulo 17.

Las órdenes motoras conscientes y subconscientes controlan los músculos estriados viajando a través de tres vías motoras integradas: *la vía corticoespinal*, *la vía medial* y *la vía lateral*. La figura 16.4 indica la posición de los tractos motores asociados en la médula espinal. La actividad en estas vías motoras está controlada y ajustada por los ganglios basales y el cerebelo. Sus aferencias estimulan o inhiben la actividad de: 1) los núcleos motores, o 2) la corteza motora primaria.

Vía corticoespinal [v. figura 16.4]

La **vía corticoespinal,** en ocasiones llamada *sistema piramidal* (v. figura 16.4a), proporciona el control voluntario sobre los músculos estriados. Este sistema comienza en las *células piramidales* de la corteza motora primaria. Los axones de estas neuronas motoras superiores descienden por el tronco del encéfalo y la médula espinal para hacer sinapsis con las neuronas motoras inferiores que controlan los músculos estriados. En general, la vía corticoespinal es directa: las neuronas motoras superiores sinaptan directamente con las neuronas motoras inferiores. Sin embargo, la vía corticoespinal también funciona indirectamente, como cuando inerva los centros de las vías medial y lateral.

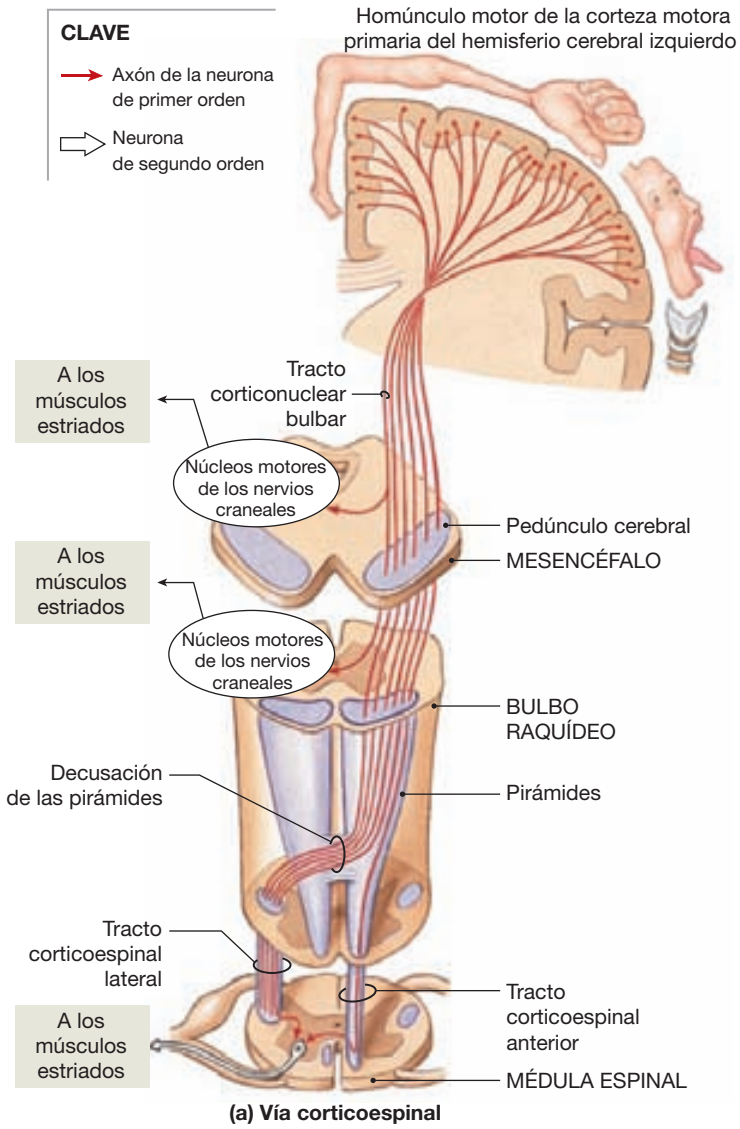
La vía corticoespinal contiene tres pares de tractos descendentes: 1) los *tractos corticonucleares bulbares*; 2) los *tractos corticoespinales laterales,* y 3) los *tractos corticoespinales anteriores*. Estos tractos entran en la sustancia blanca de la cápsula interna, descienden por el tronco del encéfalo y salen a cada lado del mesencéfalo formando los *pedúnculos cerebrales* [p. 410].

Tractos corticonucleares bulbares [v. figura 16.4a y tabla 16.2]

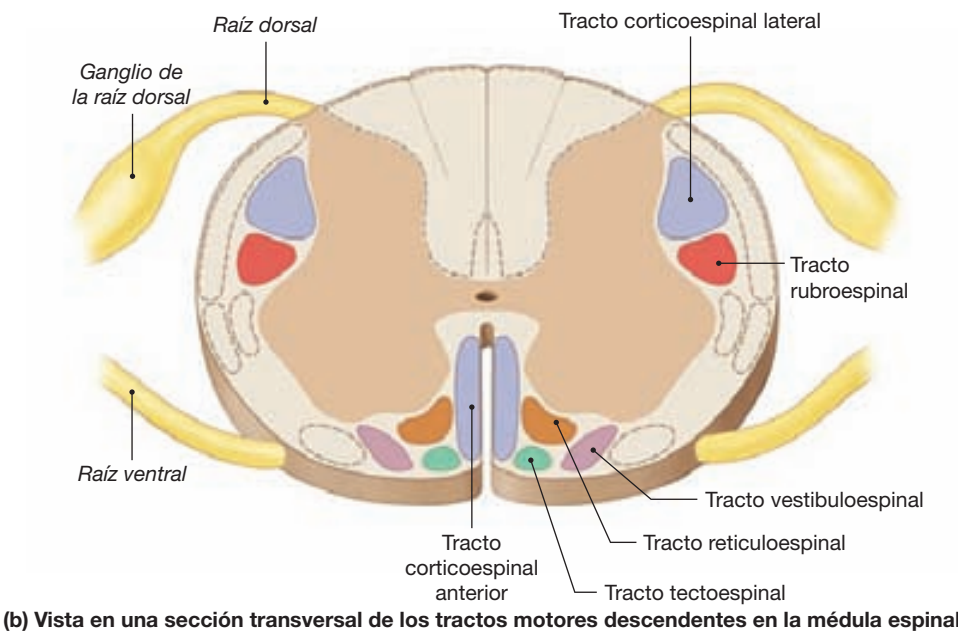
Los axones de los **tractos corticonucleares bulbares** (bulbar, tronco del encéfalo) (v. figura 16.4a y tabla 16.2) hacen sinapsis con las neuronas motoras inferiores de los núcleos motores de los nervios craneales III, IV, V, VI, VII, IX, XI y XII. Los tractos corticonucleares bulbares proporcionan control consciente sobre los músculos estriados que mueven el ojo, la mandíbula, la cara y algunos músculos del cuello y la faringe. Los tractos corticonucleares bulbares también inervan los centros motores de las vías medial y lateral [p. 416].

Tractos corticoespinales [v. figura 16.4 y tabla 16.2]

Los axones de los **tractos corticoespinales** (v. figura 16.4) hacen sinapsis con las neuronas motoras inferiores de las astas anteriores de la médula espinal. A medida que descienden, los tractos corticoespinales son visibles a lo largo de la superficie ventral del bulbo raquídeo en forma de un par de bandas gruesas, las **pirámides.** A lo largo de la longitud de las pirámides, aproximadamente el 85% de los axones cruzan la línea media (se decusan) para entrar en los **tractos corticoespinales laterales** del lado contralateral de la médula espinal. El tracto corticoespinal lateral hace sinapsis con las neuronas motoras



(a) Vía corticoespinal



(b) Vista en una sección transversal de los tractos motores descendentes en la médula espinal

Figura 16.4 La vía corticoespinal y los tractos motores descendentes en la médula espinal

(a) La vía corticoespinal se origina en la corteza motora primaria. Los tractos corticonucleares bulbares terminan en los núcleos motores de los nervios craneales del lado opuesto del encéfalo. La mayor parte de las fibras de esta vía se cruzan en el bulbo y entran en los tractos corticoespinales laterales; el resto descienden en los tractos corticoespinales anteriores y se cruzan después de alcanzar los segmentos correspondientes de la médula espinal. **(b)** Vista en una sección transversal que indica la localización de los principales tractos motores descendentes que contienen los axones de las neuronas motoras superiores. El origen y destino de estos tractos se describen en la *tabla 16.2.* Los tractos sensitivos *(que se muestran en la figura 16.1)* aparecen con líneas de puntos.

TABLA 16.2 Principales vías descendentes (motoras) y funciones generales de los núcleos asociados al núcleo del encéfalo

Vía/tracto	Localización de la neurona motora superior	Destino	Lugar de cruzamiento	Acción
VÍA CORTICOESPINAL				
Tractos corticonucleares bulbares	Corteza motora primaria (hemisferio cerebral)	Neuronas motoras inferiores de los núcleos de los nervios craneales en el tronco del encéfalo	Tronco del encéfalo	Control motor consciente de los músculos estriados
Tractos corticoespinales laterales	Como el anterior	Neuronas motoras inferiores de las astas anteriores de la médula espinal	Pirámides del bulbo raquídeo	Como los anteriores
Tractos corticoespinales anteriores	Como los anteriores	Como los anteriores	A nivel de la neurona motora inferior	Como los anteriores
VÍA MEDIAL				
Tractos vestibuloespinales	Núcleo vestibular (en el límite entre la protuberancia y el bulbo raquídeo)	Como los anteriores	Ninguno (directos)	Regulación subconsciente del equilibrio y el tono muscular
Tractos tectoespinales	Techo del mesencéfalo: colículos superiores e inferiores	Neuronas motoras inferiores de las astas anteriores (sólo en la médula espinal cervical)	Tronco del encéfalo (mesencéfalo)	Regulación subconsciente de la posición de los ojos, la cabeza, el cuello y el miembro superior en respuesta a los estímulos visuales y auditivos
Tractos reticuloespinales	Formación reticular (red de núcleos en el tronco del encéfalo)	Neuronas motoras inferiores de las astas anteriores de la médula espinal	Ninguno (directos)	Regulación subconsciente de la actividad refleja
VÍA LATERAL				
Tractos rubroespinales	Núcleos rojos del mesencéfalo	Como los anteriores	Tronco del encéfalo (mesencéfalo)	Regulación subconsciente del tono muscular y el movimiento del miembro superior

inferiores de las astas anteriores a todos los niveles de la médula espinal. El otro 15% continúa sin cruzarse a lo largo de la médula espinal formando los **tractos corticoespinales anteriores.** En el segmento espinal al que se dirige, un axón del tracto corticoespinal anterior se decusa al lado contralateral de la médula espinal en la comisura blanca anterior. Después la neurona motora superior hace sinapsis con las neuronas motoras inferiores de las astas anteriores de la región cervical y torácica superior de la médula espinal. La información concerniente a estos tractos y sus funciones asociadas se resume en la tabla 16.2.

Homúnculo motor La actividad de las células piramidales de una porción específica de la corteza motora primaria dará lugar a la contracción de músculos periféricos específicos. La identidad de los músculos estimulados depende de la región de la corteza motora que está activa. Como en la corteza sensitiva primaria, la corteza motora primaria se corresponde punto por punto con regiones específicas del cuerpo. Las áreas corticales se han mapeado de forma esquemática, creando un **homúnculo motor.** La figura 16.4a muestra el homúnculo motor del hemisferio cerebral izquierdo y la vía corticoespinal que controla los músculos estriados del lado derecho del cuerpo.

Las proporciones del homúnculo motor son bastante diferentes de las del cuerpo real (v. figura 16.4a) porque el área motora destinada a una región específica de la corteza es proporcional al número de unidades motoras implicadas en el control de la región más que a su tamaño real. Como consecuencia, el homúnculo proporciona una indicación del grado de control motor fino que aporta. Por ejemplo, las manos, la cara y la lengua, que son capaces de movimientos variados y complejos, aparecen muy grandes, mientras que el tronco es relativamente pequeño. Estas proporciones son similares a las del homúnculo sensitivo (v. figura 16.2a, p. 434). Los homúnculos sensitivo y motor difieren en otros aspectos porque algunas regiones muy sensibles, como la planta del pie, contienen pocas unidades motoras, y algunas áreas con abundancia de unidades motoras, como los músculos oculares, no son particularmente sensibles.

Vías mediales y laterales [v. figuras 16.4b/16.5 y tabla 16.2]

Varios centros del cerebro, el diencéfalo y el tronco del encéfalo pueden enviar órdenes motoras somáticas como resultado del procesamiento realizado a nivel subconsciente [pp. 397, 410, 414]. Estos centros y sus tractos asociados fueron conocidos largo tiempo como el *sistema extrapiramidal (SEP)* porque se pensaba que operaban independiente y paralelamente al *sistema piramidal* (vía corticoespinal). Este esquema de clasificación es tanto inexacto como confuso, porque el control motor se integra a todos los niveles a través de extensos circuitos de retroalimentación e interconexiones. Es más apropiado agrupar estos núcleos

Nota clínica

Parálisis cerebral El término **parálisis cerebral** se refiere a una serie de trastornos que afectan a la ejecución motora voluntaria, que aparecen durante la lactancia o la infancia y que persisten a lo largo de la vida del individuo afectado. La causa puede ser un traumatismo del SNC asociado a un parto prematuro o inusualmente estresante, exposición materna a tóxicos, incluyendo el alcohol, o un defecto genético que causa un desarrollo inadecuado de las vías motoras. Los problemas del parto y el alumbramiento pueden causar una compresión o interrupción de la circulación placentaria o del aporte de oxígeno. Si la concentración de oxígeno en la sangre fetal disminuye significativamente durante tan poco tiempo como 5-10 minutos, la función del SNC puede afectarse de forma permanente. La corteza cerebral, el cerebelo, los ganglios basales, el hipocampo y el tálamo son particularmente sensibles, y pueden producirse anomalías de las habilidades motoras, la postura y el equilibrio, la memoria, el habla y la capacidad de aprendizaje.

y tractos en base a las principales funciones que realizan: los componentes de las **vías mediales** ayudan a controlar los movimientos groseros del tronco y los músculos proximales de los miembros, mientras que los de las **vías laterales** ayudan a controlar los músculos distales de los miembros que llevan a cabo movimientos más precisos.

Las vías mediales y laterales pueden modificar o dirigir las contracciones del músculo estriado estimulando, facilitando o inhibiendo las neuronas motoras inferiores. Es importante apreciar que los axones de las neuronas motoras superiores de las vías mediales y laterales hacen sinapsis en las mismas neuronas motoras inferiores inervadas por la vía corticoespinal. Esto significa que las diferentes vías motoras interaccionan no sólo en el encéfalo a través de las interconexiones entre la corteza motora primaria y los centros motores del tronco del encéfalo, sino también mediante interacciones excitatorias o inhibitorias a nivel de las neuronas motoras inferiores.

Vía medial El control del tono muscular y de los movimientos groseros del cuello, el tronco y los músculos proximales de los miembros se transmite principalmente por la vía medial. Las neuronas motoras superiores de la vía medial se localizan en los *núcleos vestibulares*, los *colículos superiores* e *inferiores* y la *formación reticular* (v. figura 16.5).

Los núcleos vestibulares reciben información, a través del nervio vestibulococlear (N VIII), de los receptores del oído interno que controlan la posición y el movimiento de la cabeza. Estos núcleos responden a los cambios en la orientación de la cabeza, enviando órdenes motoras que alteran el tono muscular, la extensión, y la posición del cuello, los ojos, la cabeza y los miembros. El objetivo principal es mantener la postura y el equilibrio. Las fibras descendentes en la médula espinal constituyen los **tractos vestibuloespinales** (v. figura 16.4b).

Los colículos superiores e inferiores se localizan en el *tectum,* o techo, del mesencéfalo [p. 410]. Los colículos reciben la sensibilidad visual (superiores) y auditiva (inferiores), y estos núcleos están implicados en coordinar o dirigir las respuestas reflejas a estos estímulos. Los colículos superiores reciben información auditiva transmitida desde los colículos inferiores, así como información somatosensitiva colateral. Los axones de las neuronas motoras superiores localizadas en los colículos superiores descienden en los **tractos tectoespinales.** Estos axones se cruzan al lado opuesto inmediatamente antes de descender para hacer sinapsis con las neuronas motoras inferiores del tronco del encéfalo o la médula espinal. Los axones de los tractos tectoespinales dirigen los cambios reflejos en la posición de la cabeza, el cuello y los miembros superiores en respuesta a la luz brillante, los movimientos súbitos o los sonidos intensos.

La formación reticular es una red parcialmente organizada de neuronas que se extiende a lo largo del tronco del encéfalo. La formación reticular recibe aferencias de casi todas las vías ascendentes y descendentes. También tiene interconexiones extensas con los núcleos del cerebro, el cerebelo y el tronco del encéfalo. Los axones de las neuronas motoras superiores de la formación reticular descienden en los **tractos reticuloespinales** sin cruzarse al lado opuesto. Los efectos de la estimulación de la formación reticular están determinados por la región estimulada. Por ejemplo, la estimulación de las neuronas motoras superiores de una porción de la formación reticular produce los movimientos oculares, mientras que la estimulación de otra porción activa los músculos respiratorios.

Vía lateral La información principal que transmite la vía lateral es el control del tono muscular y de los movimientos de las porciones distales de los miembros superiores. Las órdenes que conduce la vía lateral típicamente facilitan los músculos flexores e inhiben los músculos extensores. Las neuronas motoras superiores de la vía lateral se sitúan en los *núcleos rojos* del mesencéfalo [p. 410]. Los axones de las neuronas motoras superiores de los núcleos rojos se cruzan al lado opuesto del encéfalo y descienden por la médula espinal en los **tractos rubroespinales** (*ruber,* rojo). En el ser humano los tractos rubroespinales son pequeños y se extienden sólo hasta la médula espinal cervical. Proporcionan control motor sobre los músculos distales de los miembros superiores; normalmente, su papel es insignificante en comparación con el de los tractos corticoespinales laterales. Sin embargo, los tractos rubroespinales pueden ser importantes para mantener el control motor y el tono muscular en los miembros superiores si se lesionan los tractos corticoespinales laterales.

La tabla 16.2 revisa los principales tractos motores que hemos comentado en esta sección.

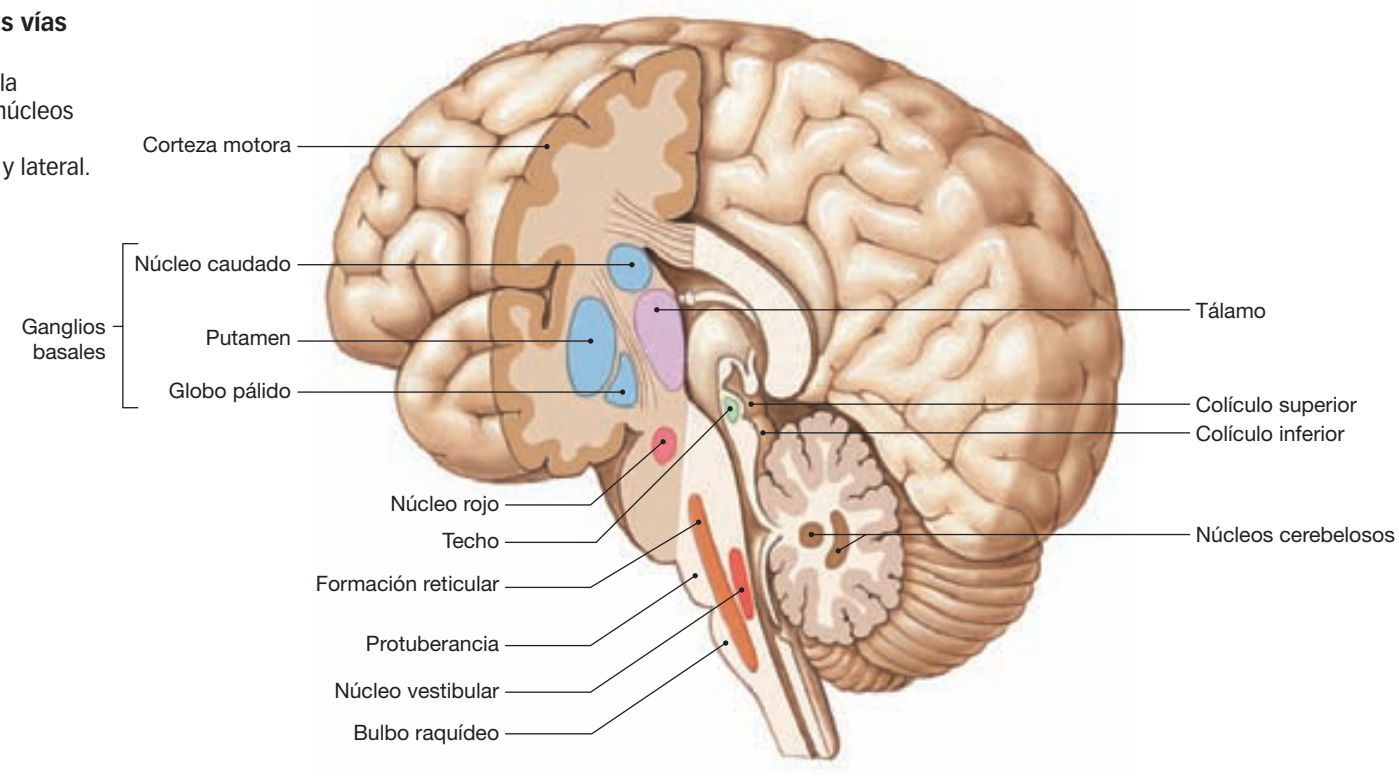


Figura 16.5 Núcleos de las vías mediales y laterales
Vista de un corte que muestra la localización de los principales núcleos cuyas eferencias motoras son conducidas por las vías medial y lateral. *Véanse también figura 15.11 y tabla 15.4.*

Nota clínica

Esclerosis lateral amiotrófica Los trastornos desmielinizantes afectan tanto a las neuronas sensitivas como motoras, produciendo pérdida de la sensibilidad y del control motor. La *esclerosis lateral amiotrófica (ELA)* es un trastorno progresivo que afecta específicamente a las neuronas motoras, dejando intactas las neuronas sensitivas. Como consecuencia, los individuos con ELA presentan una afectación del control motor pero no tienen pérdida de la sensibilidad ni de la función intelectual. Se destruyen las neuronas motoras del SNC. El blanco principal son las neuronas implicadas en la inervación de los músculos estriados.

Los síntomas de la ELA generalmente no aparecen hasta que el individuo tiene más de 40 años. La ELA aparece con una incidencia de tres a cinco casos por cada 100.000 habitantes en todo el mundo. El trastorno es algo más frecuente en varones que en mujeres. El patrón de los síntomas varía con las neuronas motoras específicas afectadas. Cuando las neuronas motoras de los hemisferios cerebrales del encéfalo son las primeras en afectarse, el individuo experimenta una dificultad para llevar a cabo los movimientos voluntarios y tiene reflejos de estiramiento exagerados. Si se dirige a las neuronas motoras de otras porciones del encéfalo y la médula espinal, el individuo presenta debilidad muscular, inicialmente en un miembro, pero que gradualmente se disemina a otros miembros y finalmente al tronco. Cuando degeneran las neuronas motoras que inervan los músculos estriados, se produce una pérdida del tono muscular. Con el tiempo, los músculos estriados se atrofian. La enfermedad progresa rápidamente, y la supervivencia media tras el diagnóstico es sólo de tres a 5 años. Puesto que las funciones intelectuales se mantienen indemnes, una persona con ELA permanece alerta y consciente durante el transcurso de la enfermedad. Este es uno de los aspectos más perturbadores del trastorno. Entre las personas famosas que han desarrollado ELA están el jugador de béisbol Lou Gehrig y el físico Stephen Hawking.

La causa primaria de la ELA es incierta; sólo el 5%-10% de los casos de ELA parecen tener una base genética, y un 5% de estos casos genéticos están causados por una mutación en un gen que codifica una enzima que protege la célula de sustancias químicas nocivas que se generan durante el metabolismo. A nivel celular, parece que el problema subyacente se encuentra en las membranas postsinápticas de las neuronas motoras. El tratamiento con riluzol, un fármaco que suprime la liberación de glutamato (un neurotransmisor) ha retrasado el inicio de la parálisis respiratoria y ha prolongado la vida de los pacientes con ELA. La *Food and Drug Administration* (FDA) ha aprobado este fármaco para su utilización clínica.

Ganglios basales y cerebelo [v. figura 16.5]

Los ganglios basales son agrupaciones de sustancia gris en el interior del cerebro, laterales al tálamo (**v. figura 16.5**). Los ganglios basales y el cerebelo son responsables de la coordinación y el control por retroalimentación de las contracciones musculares, estén dirigidas esas contracciones de forma consciente o bien subconsciente.

Ganglios basales Los patrones de movimiento basales implicados en las actividades motoras voluntarias están proporcionados por los núcleos basales. Por ejemplo, pueden controlar los músculos que determinan la posición de base del tronco y los miembros, o pueden dirigir ciclos rítmicos de movimiento, como al caminar o correr. Los ganglios basales no ejercen control directo sobre las neuronas motoras inferiores; en lugar de eso, ajustan la actividad de las neuronas motoras superiores en las diferentes vías motoras. Los ganglios basales reciben aferencias de todas las porciones de la corteza cerebral, así como de la sustancia negra.

Los ganglios basales utilizan cuatro vías principales para ajustar o establecer los patrones de movimiento:

1. Un grupo de axones establece sinapsis con neuronas talámicas que después envían sus axones a la corteza premotora, el área de asociación motora que dirige las actividades de la corteza motora primaria. Esta disposición crea un circuito de retroalimentación que cambia la sensibilidad de las células piramidales y altera el patrón de instrucciones conducidas por los tractos corticoespinales.
2. El segundo grupo de axones establece sinapsis con neuronas talámicas que después envían sus axones a extensas áreas de asociación de la corteza cerebral. Esta disposición crea un circuito por medio del cual las distintas áreas de asociación de la corteza cerebral pueden ejercer un efecto sobre la actividad motora de la corteza cerebral.
3. Un tercer grupo de axones establece sinapsis en la formación reticular, alterando las eferencias excitatorias o inhibitorias de los tractos reticuloespinales.
4. El cuarto grupo de axones establece sinapsis en los colículos superiores del mesencéfalo y en las distintas áreas de la corteza cerebral que controlan los movimientos oculares. Este circuito nervioso influye en los movimientos oculares rápidos.

Existen dos poblaciones diferentes de neuronas: una que estimula las neuronas liberando acetilcolina (ACh) y otra que inhibe las neuronas mediante la liberación de ácido gamma aminobutírico (GABA). En condiciones normales, las interneuronas excitatorias se mantienen inactivas y los tractos que salen de los ganglios basales tienen un efecto inhibitorio sobre las neuronas motoras superiores. En la *enfermedad de Parkinson*, las neuronas excitatorias se hacen más activas y crean problemas en el control voluntario del movimiento [p. 410].

Si se lesiona la corteza motora primaria, el individuo pierde la capacidad para ejercer un control fino sobre los músculos estriados. Sin embargo, los ganglios basales aún pueden controlar algunos movimientos voluntarios. En efecto, las vías medial y lateral funcionan como lo hacen generalmente, pero la vía corticoespinal no puede ajustar los movimientos de forma precisa. Por ejemplo, después de una lesión de la corteza motora primaria, los ganglios basales aún pueden recibir información acerca de los movimientos planificados desde la corteza prefrontal y pueden llevar a cabo los movimientos preparatorios del tronco y los miembros. Pero puesto que la vía corticoespinal no está operativa, no pueden producirse movimientos precisos de los antebrazos, las muñecas y las manos. Un individuo en esta situación puede estar de pie, mantener el equilibrio e incluso caminar, pero todos los movimientos son dubitativos, torpes y poco controlados.

Cerebelo El control de la sensibilidad propioceptiva (posicional), la información visual procedente de los ojos y la sensibilidad vestibular (equilibrio) desde el oído interno cuando los movimientos están en marcha es una función del cerebelo [pp. 412-414]. Los axones que transmiten la información propioceptiva alcanzan la corteza cerebelosa con los tractos espinocerebelosos. La información visual se transmite desde los colículos superiores, y la información del equilibrio se transmite desde los núcleos vestibulares. Las eferencias del cerebelo influyen sobre la actividad de la neurona motora superior de las vías corticoespinal, medial y lateral.

Todas las vías motoras envían información al cerebelo cuando se emiten órdenes motoras. Cuando se lleva a cabo el movimiento, el cerebelo controla la información propioceptiva y vestibular y compara la sensibilidad que llega con la experimentada durante movimientos anteriores. Entonces ajusta la actividad de las neuronas motoras superiores implicadas. En general, cualquier movimiento voluntario comienza con la activación de muchas más unidades motoras que las requeridas –o incluso deseables–. El cerebelo proporciona la inhibición necesaria reduciendo el número de órdenes motoras hasta un mínimo eficaz. A medida que se lleva a cabo el movimiento, el patrón y el grado de inhibición se modifican produciendo el resultado deseado.

Los patrones de actividad cerebelosa se aprenden mediante ensayo y error, a través de muchas repeticiones. Muchos de los patrones básicos se establecen en las etapas iniciales de la vida; un ejemplo son los finos ajustes del equilibrio que se realizan al estar de pie y caminar. La capacidad para ajustar de forma precisa un patrón de movimiento complejo mejora con la práctica hasta que los movimientos se hacen fluidos y automáticos. Por ejemplo, los movimientos relajados y fluidos de los acróbatas, los golfistas y los cocineros de *sushi:* se trata de personas que se mueven sin pensar en los detalles de sus movimientos. Esta capacidad es importante, porque cuando uno se concentra en el control voluntario, generalmente el ritmo y el patrón del movimiento se vienen abajo al comenzar nuestra corteza motora primaria a hacer caso omiso de las órdenes de los ganglios basales y el cerebelo.

Niveles de control motor somático [v. figura 16.6]

La información ascendente se transmite desde un núcleo o centro a otro en una serie de pasos. Por ejemplo, la información sensitiva somática de la médula espinal va desde un núcleo del bulbo raquídeo hasta un núcleo del tálamo antes de alcanzar la corteza sensitiva primaria. El procesamiento de la información se produce en cada paso a lo largo de este camino. Como consecuencia, la percepción consciente del estímulo puede ser bloqueada, reducida o intensificada.

Estos pasos de procesamiento son importantes, pero llevan un tiempo. Cada sinapsis supone otra demora, y entre el tiempo de conducción y el retraso sináptico lleva varios milisegundos transmitir la información desde un receptor periférico hasta la corteza sensitiva primaria. Pasará un tiempo adicional antes de que la corteza motora primaria ordene una respuesta motora voluntaria.

Este retraso no es peligroso, porque las órdenes motoras intermedias son enviadas por las estaciones de relevo de la médula espinal y el tronco del encéfalo. Mientras la mente consciente está aún procesando la información, los reflejos nerviosos proporcionan una respuesta inmediata que más tarde puede ser «ajustada de forma precisa». Por ejemplo, si tocas la parte superior de una cocina caliente, en los pocos milisegundos que te lleva ser consciente del peligro, podrías quemarte de forma grave. Pero eso no ocurre porque tu respuesta (retirar la mano) tiene lugar casi inmediatamente a través de un reflejo de retirada coordinado en la médula espinal. Las respuestas motoras voluntarias, como sacudir la mano, ir hacia atrás y gritar, ocurren algo más tarde. En este caso, la respuesta refleja inicial, dirigida por neuronas de la médula espinal, se complementó con una respuesta voluntaria controlada por la corteza cerebral. El reflejo medular proporcionó una respuesta rápida, automática, pre-programada que preservó la homeostasis. La respuesta cortical era más compleja, pero requería más tiempo para prepararse y ejecutarse.

Los núcleos del tronco del encéfalo también están implicados en una variedad de reflejos complejos. Algunos de estos núcleos reciben información sensitiva y generan las respuestas motoras apropiadas. Estas respuestas motoras pueden implicar un control directo sobre las neuronas motoras o la regulación de los centros reflejos en otras partes del encéfalo. La **figura 16.6** ilustra los diferentes niveles de control motor somático desde los reflejos medulares simples hasta los patrones de movimiento complejos.

Todos los niveles de control motor somático influyen en la actividad de las neuronas motoras inferiores. Los reflejos coordinados en la médula espinal y el tronco del encéfalo son los mecanismos más sencillos de control motor. Los niveles superiores llevan a cabo un procesamiento más elaborado; al desplazarnos desde el bulbo raquídeo hasta la corteza cerebral, los patrones motores se hacen cada vez más complejos y variables. Por ejemplo, el centro de ritmicidad respiratoria del bulbo raquídeo establece una frecuencia básica de la respiración. Los centros de la protuberancia ajustan esa frecuencia en respuesta a las órdenes recibidas desde el hipotálamo (subconsciente) o la corteza cerebral (consciente).

Los ganglios basales, el cerebelo, el mesencéfalo y el hipotálamo controlan los patrones motores involuntarios más complicados. Son ejemplos los patrones motores asociados a la alimentación y la reproducción (hipotálamo), la marcha y la posición corporal (ganglios basales), los patrones de movimiento aprendidos (cerebelo) y los movimientos en respuesta a estímulos visuales o auditivos súbitos (mesencéfalo).

Nota clínica

Anencefalia Aunque pueda sonar extraño, los médicos generalmente llevan al lactante recién nacido a una habitación oscura e iluminan su cráneo con una luz. Están comprobando si existe **anencefalia,** un trastorno raro en el cual el encéfalo no se desarrolla a niveles por encima del mesencéfalo o de la parte inferior del diencéfalo. El cráneo típicamente no se desarrolla en absoluto, haciendo sencillo el diagnóstico; si se desarrolla la bóveda craneal, está vacía y es lo suficiente translúcida para transmitir la luz.

A menos que el trastorno se descubra enseguida, los padres pueden llevarse al lactante al domicilio, totalmente inconscientes del problema. Están presentes todos los patrones de conducta normales esperados para un recién nacido, incluyendo la succión, el estiramiento, el bostezo, el llanto, el pataleo, meterse los dedos en la boca y seguir los movimientos con los ojos. Sin embargo, la muerte se producirá de forma natural en un período de días a meses.

Este trastorno trágico es una demostración asombrosa de la función del tronco del encéfalo en el control de los patrones motores involuntarios complejos. Durante el desarrollo normal estos patrones llegan a incorporarse a conductas variables y versátiles a medida que aparecen los centros analíticos y de control en la corteza cerebral.

A medida que tienen lugar estos fenómenos, las neuronas corticales continúan estableciendo nuevas interconexiones que tendrán un efecto a largo plazo sobre las capacidades funcionales del individuo.

A nivel más superior se encuentran los patrones motores complejos, variables y voluntarios dictados por la corteza cerebral. Las órdenes motoras pueden enviarse directamente a neuronas motoras específicas o pueden darse indirectamente alterando la actividad de un centro de control reflejo. La **figura 16.6b,c** proporciona un diagrama sencillo de los pasos implicados en la planificación y ejecución de un movimiento voluntario.

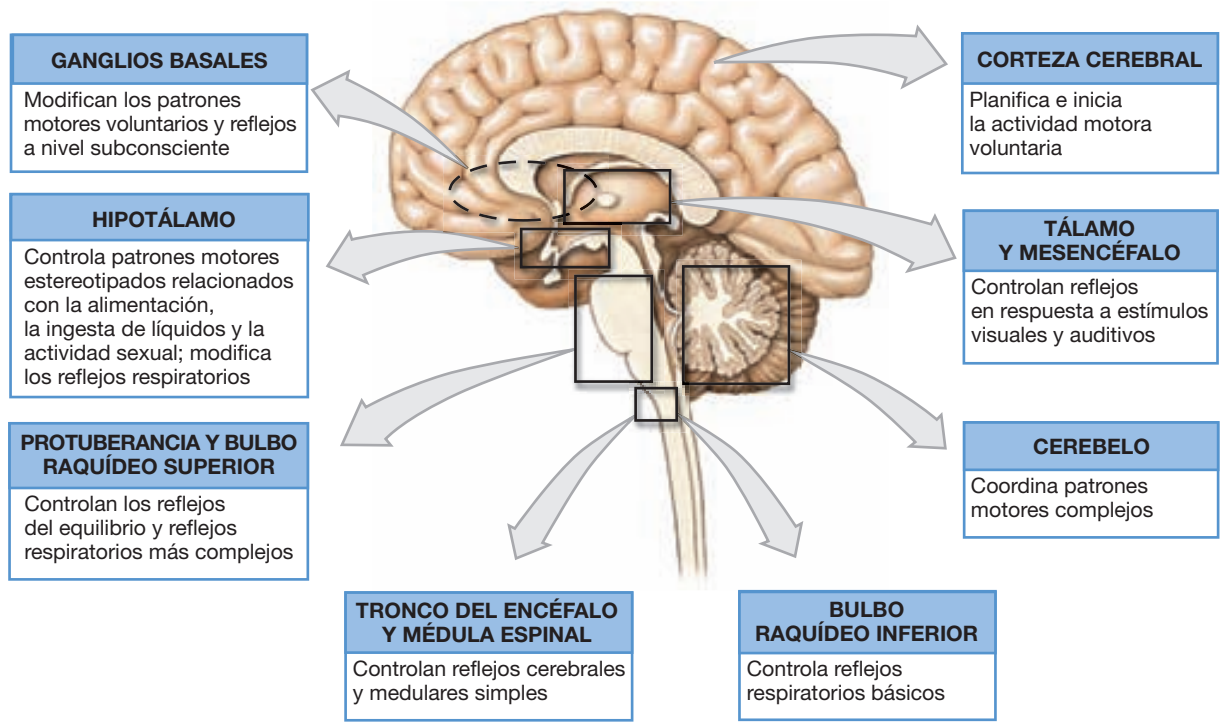
Durante el desarrollo, los niveles de control aparecen de forma secuencial, comenzando por los reflejos medulares. Los reflejos más complejos se desarrollan a medida que las neuronas crecen y se interconectan. El proceso continúa de forma relativamente lenta, a medida que los billones de neuronas establecen trillones de conexiones sinápticas. Al nacer ni la corteza cerebral ni la cerebelosa son completamente funcionales, y sus capacidades requieren años para madurar. Existen varios factores anatómicos, señalados en capítulos anteriores, que contribuyen a esta maduración:

1. Las neuronas corticales continúan aumentando en número al menos hasta la edad de 1 año.
2. El encéfalo crece de tamaño y complejidad al menos hasta los 4 años de edad.
3. La mielinización de los axones del SNC continúa al menos hasta los 1-2 años de edad; la mielinización periférica puede continuar hasta la pubertad.

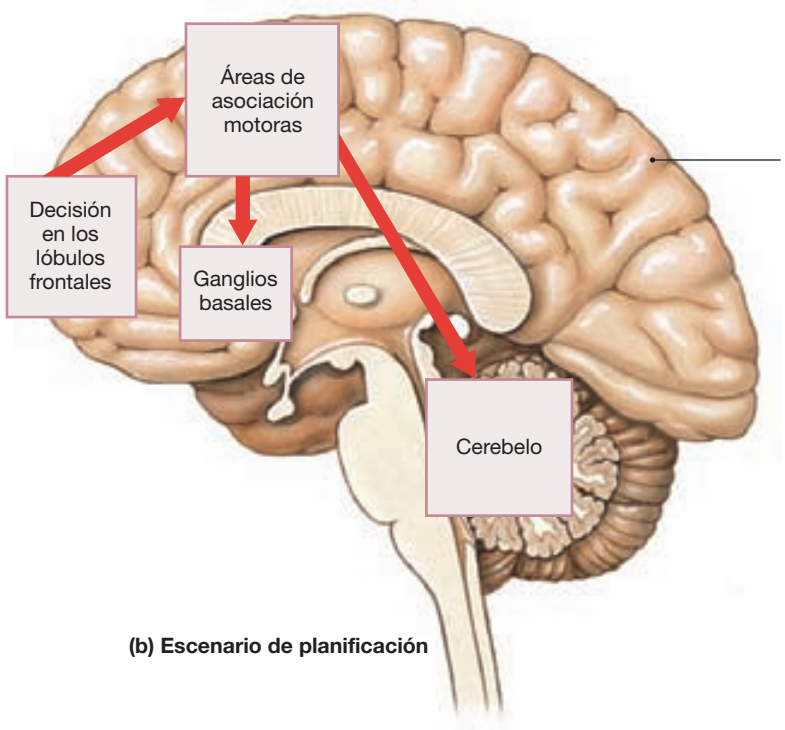
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Como consecuencia de presión sobre la médula espinal, Jill no puede sentir el tacto ni la presión en las piernas. ¿Qué tracto medular está comprimido?
2. ¿Cuál es la razón anatómica por la que el lado izquierdo del encéfalo controla la función motora en el lado derecho del cuerpo?
3. ¿A qué parte del cuerpo afectaría una lesión de la porción superior de la corteza motora?
4. ¿A través de qué tractos motores viajarían las siguientes órdenes:
   (a) cambio reflejo de la posición de la cabeza debido a luces brillantes,
   (b) alteraciones automáticas en la posición del miembro para mantener el equilibrio?

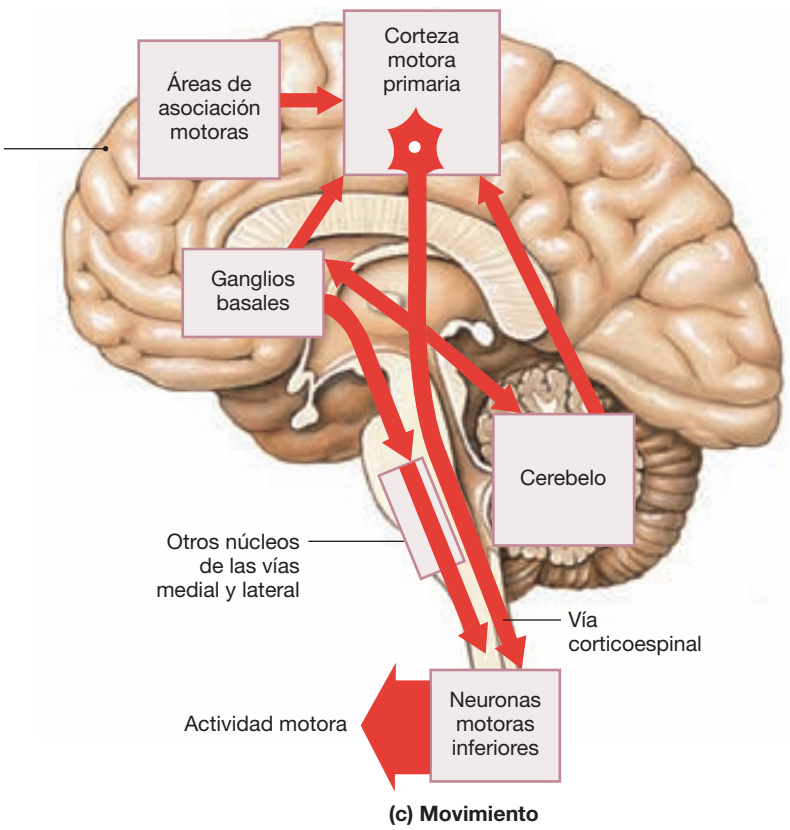
Véase «Respuestas» al final del libro.


GANGLIOS BASALES
Modifican los patrones motores voluntarios y reflejos a nivel subconsciente
HIPOTÁLAMO
Controla patrones motores estereotipados relacionados con la alimentación, la ingesta de líquidos y la actividad sexual; modifica los reflejos respiratorios
PROTUBERANCIA Y BULBO RAQUÍDEO SUPERIOR
Controlan los reflejos del equilibrio y reflejos respiratorios más complejos
CORTEZA CEREBRAL
Planifica e inicia la actividad motora voluntaria
TÁLAMO Y MESENCÉFALO
Controlan reflejos en respuesta a estímulos visuales y auditivos
CEREBELO
Coordina patrones motores complejos
TRONCO DEL ENCÉFALO Y MÉDULA ESPINAL
Controlan reflejos cerebrales y medulares simples
BULBO RAQUÍDEO INFERIOR
Controla reflejos respiratorios básicos

(a) Niveles de control motor somático



(b) Escenario de planificación



(c) Movimiento

Figura 16.6 Control motor somático

(a) El control motor somático incluye una serie de niveles, con reflejos medulares y cerebrales simples en el nivel inferior y patrones motores voluntarios complejos en el superior. **(b)** El escenario de la planificación: cuando se toma una decisión consciente de llevar a cabo un movimiento específico, la información se transmite desde los lóbulos frontales hasta las áreas de asociación motoras. Estas áreas a su vez transmiten la información al cerebelo y los ganglios basales. **(c)** Movimiento: cuando se inicia el movimiento, las áreas de asociación motoras envían instrucciones a la corteza motora primaria. La retroalimentación desde los ganglios basales y el cerebelo modifica esas órdenes, y las eferencias a lo largo de las vías medial y lateral dirigen ajustes involuntarios en la posición y el tono muscular.

Funciones superiores

Las funciones superiores tienen las siguientes características:

1. Se llevan a cabo en la corteza cerebral.
2. Implican interconexiones y comunicaciones complejas entre áreas de la corteza cerebral y entre la corteza cerebral y otras áreas del encéfalo.
3. Implican un procesamiento de la información tanto consciente como inconsciente.
4. No son parte de las «conexiones» programadas del encéfalo; por ello, las funciones están sujetas a modificación y ajuste con el tiempo.

Nuestro comentario sobre las funciones superiores comienza identificando las áreas corticales implicadas y considerando las diferencias funcionales entre el hemisferio cerebral izquierdo y el derecho. Después consideraremos brevemente los mecanismos de la memoria, el aprendizaje y la conciencia.

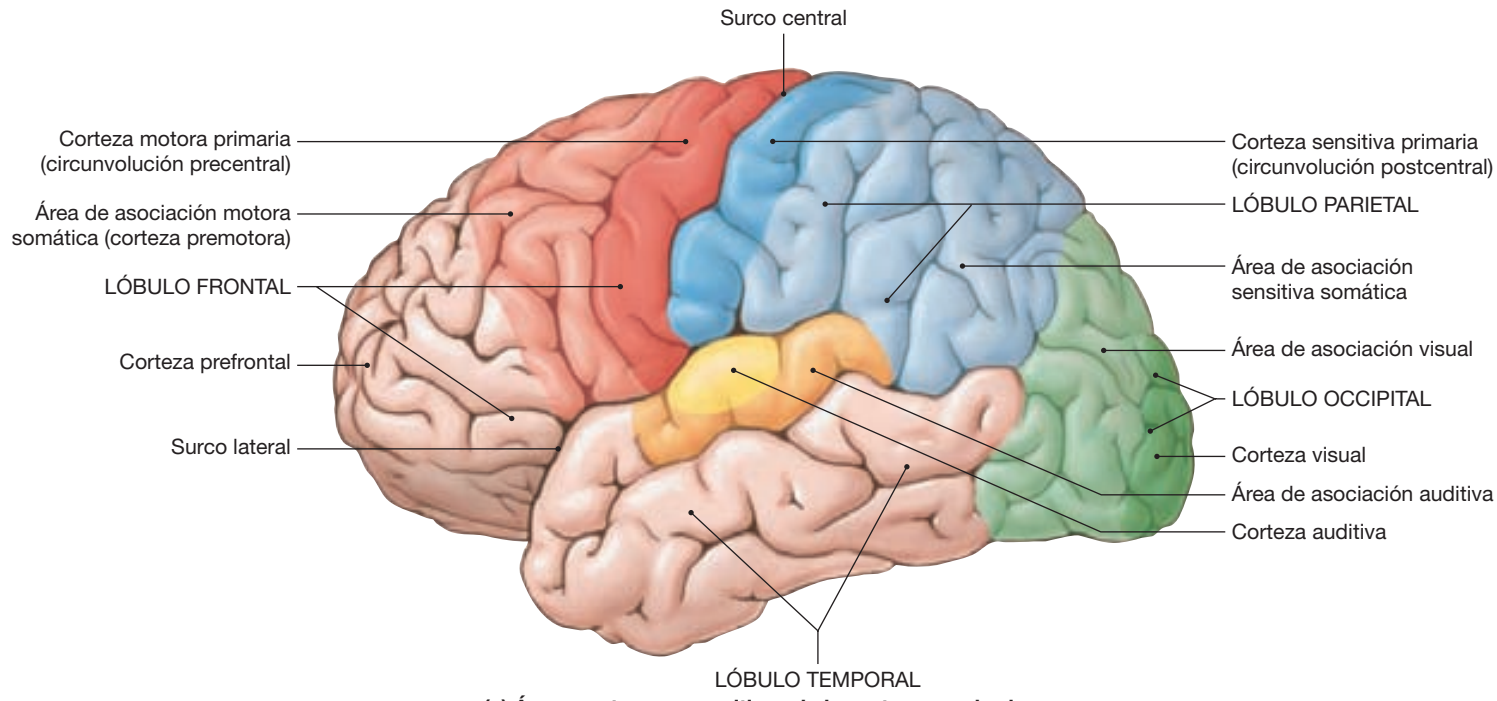
Regiones de integración de la corteza cerebral

[v. figura 16.7]

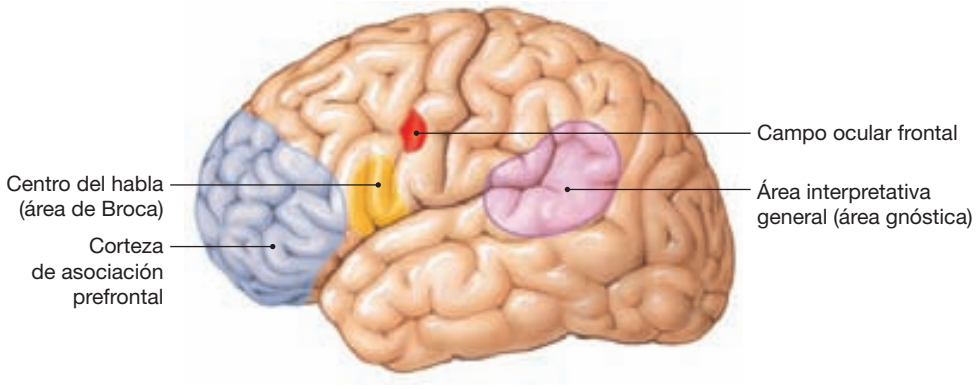
Las áreas sensitivas, motoras y de asociación de los hemisferios cerebrales se presentaron en el capítulo 15 [p. 397]. La **figura 16.7a** revisa las principales regiones corticales del hemisferio cerebral izquierdo. La revisión de los datos, la monitorización eléctrica y la observación clínica han mostrado que varias áreas corticales integran los estímulos sensitivos y respuestas motoras complejos. Estos centros (**v. figura 16.7b**) incluyen el *área interpretativa general*, el *centro del habla* y la *corteza prefrontal*.

El área interpretativa general

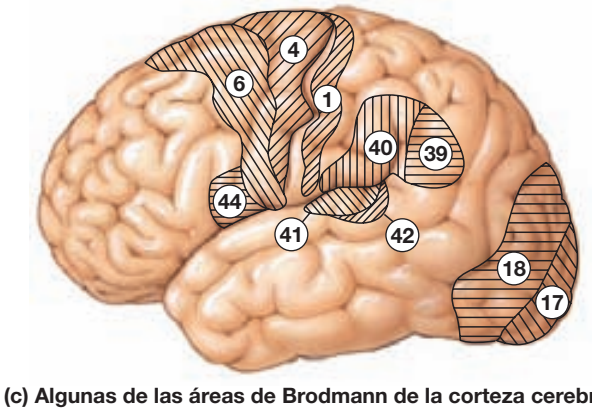
El **área interpretativa general,** o *área gnóstica*, recibe información de todas las áreas de asociación sensitivas. Este centro analítico sólo está presente en un hemisferio, generalmente el izquierdo. La lesión del área interpretativa afecta la capacidad para interpretar lo que se está leyendo u oyendo, incluso aunque se



(a) Áreas motoras y sensitivas de la corteza cerebral


Campo ocular frontal
Centro del habla (área de Broca)
Área interpretativa general (área gnóstica)
Corteza de asociación prefrontal

(b) Regiones de integración superiores de la corteza cerebral



(c) Algunas de las áreas de Brodmann de la corteza cerebral

Figura 16.7 Áreas funcionales de la corteza cerebral

(a) Áreas motoras, sensitivas y sensitivas especiales de la corteza cerebral que se encuentran en ambos hemisferios cerebrales. **(b)** El hemisferio izquierdo generalmente contiene el área interpretativa general y el centro del habla. Otras especializaciones de los dos hemisferios cerebrales se muestran en la *figura 16.8*. **(c)** Estas son algunas de las áreas de Brodmann de la corteza cerebral, cada una de ellas caracterizada por un patrón distintivo de organización celular. Comparar estas regiones anatómicas con las zonas funcionales que se muestran en las partes (a) y (b).

entiendan las palabras como entidades individuales. Por ejemplo, un individuo podría entender el significado de las palabras *siéntate* y *aquí,* pero estaría totalmente desconcertado ante la petición «siéntate aquí».

Centro del habla

Los eferentes del área interpretativa general se dirigen al **centro del habla,** o *área de Broca*. Este centro se sitúa a lo largo del borde de la corteza premotora del mismo hemisferio que el área interpretativa general. El centro del habla es un centro motor que regula los patrones de respiración y vocalización necesarios para el habla normal. Las regiones correspondientes del hemisferio opuesto no están «inactivas», pero sus funciones están menos definidas. La lesión del centro del habla puede manifestarse de varias formas. Algunos individuos tienen dificultad para hablar, aunque saben exactamente qué palabras usar; otros hablan constantemente pero utilizan todas las palabras erróneas.

Corteza prefrontal

La **corteza prefrontal,** o *área de asociación prefrontal*, del lóbulo frontal es el área encefálica más compleja. Tiene conexiones extensas con otras áreas corticales y con otras porciones del encéfalo, como el sistema límbico. La corteza prefrontal lleva a cabo funciones de aprendizaje y razonamiento complicadas. A través de sus interconexiones con el sistema límbico, también proporciona el contexto emocional y la motivación. La corteza prefrontal lleva a cabo funciones intelectuales abstractas tales como predecir las consecuencias futuras de hechos o acciones. La lesión de la corteza prefrontal conduce a dificultades en la estimación de las relaciones temporales entre los fenómenos; preguntas como «¿Cuánto tiempo hace que ocurrió esto?» o «¿Qué ocurrió primero?» se hacen difíciles de responder.

Los sentimientos de frustración, tensión y ansiedad se generan en la corteza prefrontal ya que interpreta los fenómenos en proceso y hace predicciones acerca de situaciones o consecuencias futuras. Si se interrumpen las conexiones entre la corteza prefrontal y otras regiones encefálicas, se eliminan las tensiones, frustraciones y ansiedades. A lo largo de la mitad del siglo xx, este procedimiento bastante drástico, denominado **lobotomía prefrontal,** se utilizó para «curar» varias enfermedades mentales, especialmente aquellas asociadas a una conducta violenta o antisocial.

Después de una lobotomía, el paciente no se preocuparía más por lo que previamente había sido un problema fundamental, ya fuera psicológico (alucinaciones) o físico (dolor grave). Sin embargo, a menudo el individuo estaba igualmente despreocupado por la práctica del tacto, el decoro y el aseo. Ahora que se han desarrollado fármacos que tienen como diana vías y regiones específicas del SNC, las lobotomías no se utilizan más para el control de la conducta.

Áreas de Brodmann y función cortical [v. figura 16.7c]

A principios del siglo xx se hicieron varios intentos para describir y clasificar las diferencias regionales en la organización histológica de la corteza cerebral. Se esperaba que los patrones de organización celular pudieran

Nota clínica

Lesión de los centros de integración La **afasia** (*a-,* sin + *phasia,* habla) es un trastorno que afecta a la capacidad para hablar o leer. La afasia extrema o **afasia global** deriva de una lesión extensa del área interpretativa general o de los tractos sensitivos asociados. Los individuos afectados son totalmente incapaces de hablar, leer o entender o interpretar el lenguaje de los demás. La recuperación es posible cuando el trastorno deriva de edema o hemorragia, pero el proceso a menudo lleva meses o incluso años.

La **dislexia** (*lexis,* dicción) es un trastorno que afecta a la comprensión de las palabras escritas. La **dislexia del desarrollo** afecta a los niños; se calcula que hasta un 15% de los niños en EE. UU. sufren algún grado de dislexia. Estos niños tienen dificultades para leer y escribir aunque sus otras funciones intelectuales pueden ser normales o por encima de lo normal. Su escritura es irregular y desorganizada, con letras escritas al revés o en orden erróneo con más frecuencia que en la escritura de los niños no afectados. Pruebas recientes sugieren que al menos algunas formas de dislexia resultan de problemas en el procesamiento y la clasificación de la información visual en los lóbulos occipitales y temporales.

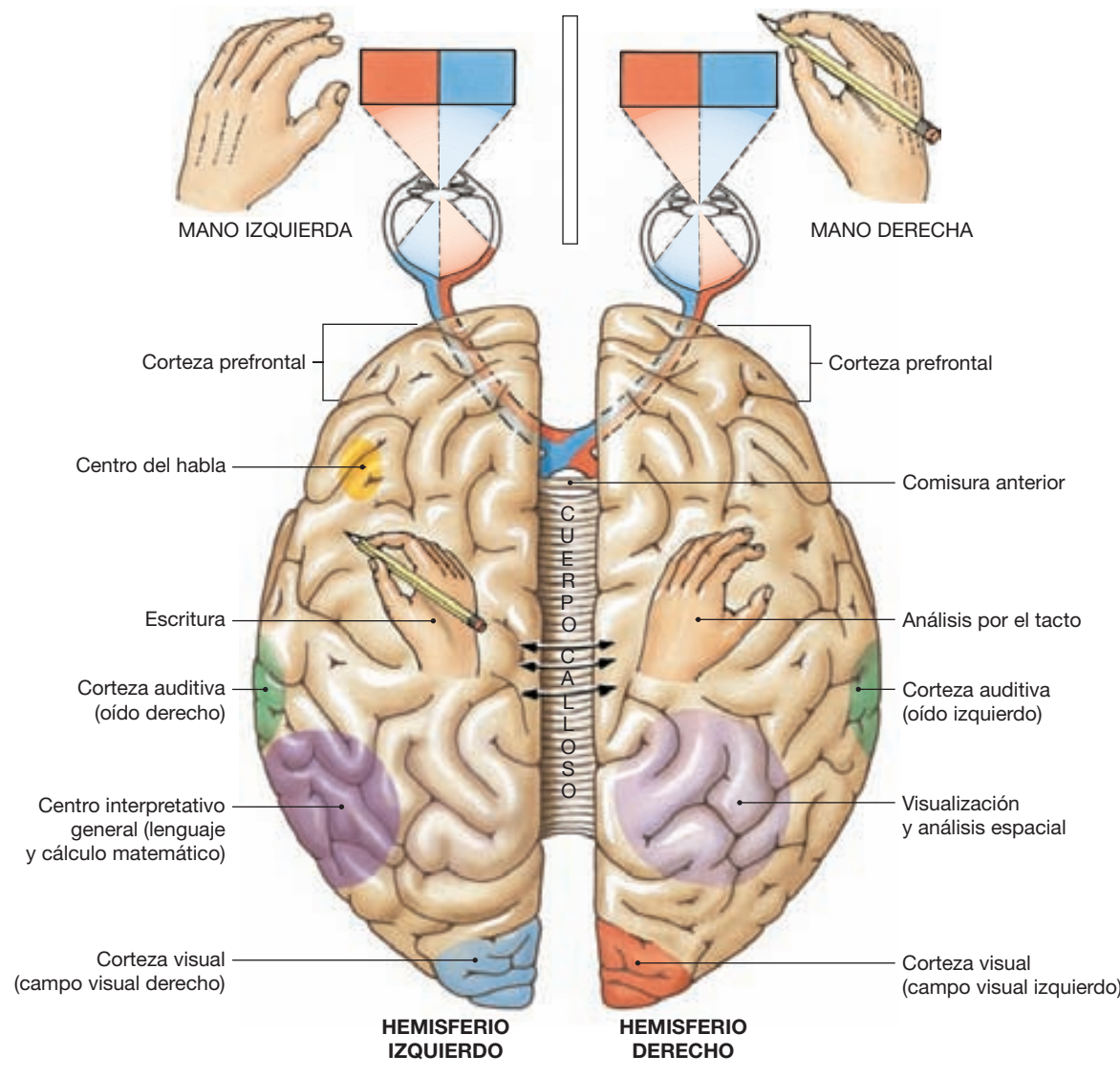


Figura 16.8 Especialización hemisférica
Diferencias funcionales entre los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho. Obsérvese que la información sensitiva especial se transmite al hemisferio cerebral del lado opuesto del cuerpo. El capítulo 18 proporcionará detalles adicionales sobre estas vías.

correlacionarse con las funciones sensitivas, motoras y de integración específicas. Hacia 1919 se habían descrito al menos 200 patrones diferentes, y la mayoría de los esquemas de clasificación han sido abandonados desde entonces. Sin embargo, el mapa cortical preparado por Brodmann en 1909 ha demostrado ser útil para los neuroanatomistas. Brodmann describió 47 patrones diferentes de organización celular en la corteza cerebral. Varias de estas *áreas de Brodmann* se muestran en la **figura 16.7c**. Algunas se corresponden con áreas funcionales conocidas. Por ejemplo, el área 44 de Brodmann corresponde al centro motor del habla, y el área 4 sigue el contorno de la corteza motora primaria. En otros casos, la correspondencia es menos precisa. Por ejemplo, el área 1 de Brodmann se sitúa en la corteza sensitiva primaria.

Especialización hemisférica [v. figuras 16.7a/16.8]

Las regiones que se observan en la **figura 16.7a** están presentes en ambos hemisferios, pero las funciones superiores no están igualmente distribuidas. La **figura 16.8** indica las principales diferencias funcionales entre los hemisferios. Los centros superiores de los hemisferios izquierdo y derecho tienen funciones diferentes pero complementarias. Algunas funciones motoras y capacidades reflejan fundamentalmente las actividades de uno de los dos hemisferios cerebrales. Por ejemplo, el centro del habla y el centro interpretativo general generalmente están en el mismo hemisferio, que se conoce como **hemisferio categórico.** Este hemisferio también se denomina el *hemisferio dominante* porque generalmente determina también la lateralidad manual; el hemisferio izquierdo es el hemisferio categórico en la mayor parte de las personas diestras.

En contraste, la percepción espacial, el reconocimiento de las caras, el contexto emocional del lenguaje y la apreciación de la música son característicos del **hemisferio representacional,** o *hemisferio no dominante*. El hemisferio cerebral derecho analiza la información sensitiva y relaciona el cuerpo con el entorno sensitivo. Los centros interpretativos de este hemisferio permiten la identificación de objetos familiares mediante el tacto, el olfato, el gusto o las sensaciones.

Curiosamente puede existir una conexión entre ser diestro o zurdo y las capacidades sensitivas y espaciales. Un porcentaje inusualmente elevado de músicos y artistas son zurdos; las actividades motoras complejas llevadas a cabo por estos individuos están dirigidas por la corteza motora primaria y las áreas de asociación del hemisferio derecho (representacional).

La especialización hemisférica no significa que los dos hemisferios sean independientes, sino simplemente que ciertos centros han evolucionado para procesar la información reunida por el sistema como un todo. La intercomunicación se produce a través de las fibras comisurales, especialmente las del cuerpo calloso [p. 401]. ¡El cuerpo calloso solo contiene más de 200 millones de axones que se calcula transmiten unos 4.000 millones de impulsos por segundo!

Memoria

La **memoria** es una función superior que implica una interacción considerable entre la corteza cerebral y otras áreas del encéfalo. La memoria es el proceso de acceder a las porciones almacenadas de información reunida a través de la experiencia; estas porciones de información se denominan *recuerdos,* o *engramas de memoria*. Algunos recuerdos pueden recuperarse voluntariamente y expresarse verbalmente, como cuando usted recuerda y recita un número de teléfono. Otros recuerdos se recuperan de forma subconsciente; por ejemplo, cuando tiene hambre, puede salivar al olor de la comida. Existen *recuerdos a corto plazo* que duran segundos a horas, y *recuerdos a largo plazo* que pueden durar años. Cada tipo de recuerdo implica a diferentes estructuras anatómicas. La conversión de un recuerdo a corto plazo en otro a largo plazo se denomina *consolidación de la memoria*.

Dos componentes del sistema límbico, el cuerpo amigdalino y el hipocampo, son esenciales para la consolidación de la memoria [pp. 401-404]. La lesión de cualquiera de esas áreas interferirá con la consolidación normal de la memoria. La lesión del hipocampo conduce a una pérdida inmediata de la memoria a corto plazo, aunque los recuerdos a largo plazo se conservan intactos y accesibles. Los tractos que van desde el cuerpo amigdalino hasta el hipotálamo pueden conectar los recuerdos con emociones específicas. Un núcleo cerebral cerca del diencéfalo, el *núcleo basal,* tiene una función incierta en el almacenamiento y la recuperación de la memoria. Hay tractos que conectan este núcleo con el hipocampo, el cuerpo amigdalino y todas las áreas de la corteza cerebral. La lesión de este núcleo se asocia con cambios en los estados emocionales, la memoria y la función intelectual (véase comentario de la enfermedad de Alzheimer más adelante en este capítulo).

Los recuerdos a largo plazo se almacenan en la corteza cerebral. Los recuerdos motores y sensitivos conscientes se derivan a las áreas de asociación apropiadas. Por ejemplo, los recuerdos visuales se almacenan en el área de asociación visual, y los recuerdos de la actividad motora voluntaria se almacenan en la corteza premotora. Porciones especiales de los lóbulos occipitales y temporales retienen recuerdos de las imágenes faciales, los sonidos de las voces y la pronunciación de las palabras.

La **amnesia** se refiere a la pérdida de la memoria por una enfermedad o traumatismo. El tipo de pérdida de memoria depende de las regiones específicas del encéfalo afectadas. La lesión de las áreas de asociación sensitivas produce pérdida de memoria de la sensibilidad que llega a la corteza sensitiva adyacente. La lesión de las estructuras talámicas y límbicas, especialmente del hipocampo, afectará al almacenamiento y la consolidación de la memoria. La amnesia puede producirse súbitamente o progresivamente, y la recuperación puede ser completa, parcial o nula, dependiendo de la naturaleza del problema.

En la amnesia retrógrada (*retro-*, atrás), el individuo pierde los recuerdos de hechos pasados. Un traumatismo craneal frecuentemente provoca cierto grado de amnesia retrógrada; después de un siniestro con un coche o de una caída, muchas víctimas son incapaces de recordar los momentos previos al accidente. En la amnesia anterógrada (*antero-*, adelante), un individuo puede ser incapaz de almacenar recuerdos adicionales, pero los recuerdos previos se mantienen intactos y accesibles. El problema parece consistir en una incapacidad para generar recuerdos a largo plazo. Cierto grado de amnesia anterógrada es un signo frecuente de senilidad, un estado que se comenta más adelante en la p. 447.

Nota clínica

Síndrome de desconexión La comunicación a través del cuerpo calloso permite la integración de la información sensitiva y las órdenes motoras. Pero los dos hemisferios son significativamente diferentes en términos de sus actividades de procesamiento. Las convulsiones intratables de otra forma en ocasiones pueden «curarse» seccionando el cuerpo calloso. Esta cirugía produce síntomas del **síndrome de desconexión.** En este trastorno los dos hemisferios funcionan independientemente, permaneciendo cada uno de ellos «inconsciente» de los estímulos o las órdenes motoras que afectan al otro. El resultado es una serie de cambios bastante interesantes en las capacidades del individuo. Por ejemplo, los objetos que toca la mano izquierda pueden reconocerse pero no identificarse verbalmente porque la información sensitiva llega al hemisferio derecho y el centro del habla está en el izquierdo. El objeto puede identificarse verbalmente si se toca con la mano derecha, pero la persona no será capaz de decir si es el mismo objeto que tocó previamente con la mano izquierda. Este problema con la información sensitiva cruzada se aplica a toda la sensibilidad.

Dos años después de una sección quirúrgica del cuerpo calloso, las anomalías de la conducta más llamativas han desaparecido, y el individuo puede tener una exploración normal. Además, los individuos que nacen sin un cuerpo calloso funcional no muestran déficit sensitivos ni motores obvios. De alguna forma, el SNC se adapta a la situación, probablemente mediante un incremento de la cantidad de información que se transfiere a través de la comisura anterior.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Después de sufrir un traumatismo craneal en un accidente de automóvil, David tiene dificultad para comprender lo que oye o lee. Este problema podría indicar una lesión, ¿de qué porción del encéfalo?
2. Kyle tiene dificultades para hablar: habla continuamente, pero utiliza palabras incorrectas. ¿Qué centro o área del encéfalo está probablemente afectada?
3. ¿Qué es la consolidación de la memoria?
4. Gina no puede llevar a cabo funciones intelectuales abstractas como predecir las consecuencias futuras de sus acciones. ¿Qué parte de su encéfalo está afectada?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel de conciencia: el sistema activador reticular [v. figura 16.9 y tabla 16.3]

Un individuo consciente está alerta y atento; un individuo inconsciente no. La diferencia es obvia, pero entre ambos estados, consciente e inconsciente, existen muchos grados (v. tabla 16.3). El nivel de conciencia que presenta un individuo está determinado por interacciones complejas entre el tronco del encéfalo y la corteza cerebral. Uno de los componentes más importantes del tronco del encéfalo es el **sistema activador reticular (SAR),** una red poco definida de la formación reticular. El SAR se extiende desde el mesencéfalo hasta el bulbo raquídeo (**v. figura 16.9**). Las eferencias del SAR se proyectan a toda la corteza cerebral. Cuando el SAR está inactivo, también lo está la corteza cerebral; la estimulación del SAR produce una activación diseminada de la corteza cerebral. La función fundamental de esta activación es mantener al individuo alerta y consciente; si el nivel de actividad cortical empieza a disminuir, la persona comienza a estar gradualmente letárgica y finalmente llega a estar inconsciente.

La porción mesencefálica del SAR parece ser el centro de control del sistema, y la estimulación de esta área produce los efectos más pronunciados y a largo plazo sobre la corteza cerebral. La estimulación de otras porciones del SAR parece tener un efecto sólo en la medida en que modifica la actividad de la región mesencefálica. Cuanto mayor sea la estimulación de la región mesencefálica del SAR, más alerta y atento estará el individuo a la información sensitiva entrante. Los núcleos asociados del tálamo tienen una función de soporte al centrar la atención en procesos mentales específicos.

Nota clínica

Niveles de conciencia Los individuos normales presentan cambios cíclicos entre los estados de alerta, de conciencia y de sueño todos los días. Con propósitos de consulta, la tabla 16.3 indica todas las posibilidades de los estados conscientes e inconscientes, desde el *delirio* hasta el *coma*. Es importante tener en cuenta que estos estados son indicadores externos del nivel de actividad del SNC. Cuando la función del SNC es anormal, el estado de conciencia puede estar afectado. Como consecuencia, los clínicos observan rápidamente cualquier anomalía del nivel de conciencia de sus pacientes.

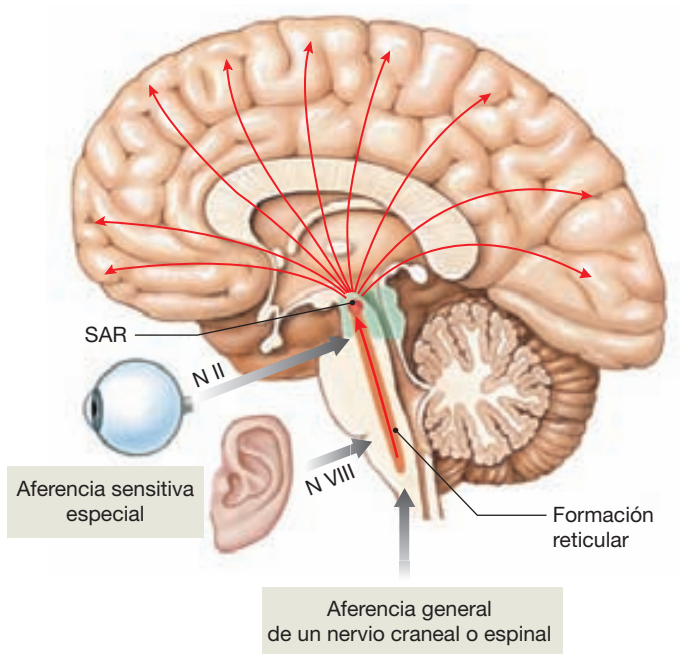


Figura 16.9 Sistema activador reticular
El centro de control mesencefálico de la formación reticular es el sistema activador reticular (SAR). Recibe aferencias colaterales de varias vías sensitivas. La estimulación de esta región produce el despertar y una intensificación del estado de atención.

TABLA 16.3 Estados de conciencia

Nivel o estado	Descripción
ESTADOS CONSCIENTES	
Delirio	Desorientación, inquietud, confusión, alucinaciones, agitación, alternancia con otros estados de conciencia; se desarrolla rápidamente
Demencia	Deterioro progresivo de la orientación espacial, la memoria, la conducta y el lenguaje
Confusión	Reducción del nivel de conciencia, se distrae con facilidad, se sobresalta con facilidad con los estímulos sensitivos, alterna entre la somnolencia y la excitabilidad; se parece a una forma menor de un estado de delirio
Nivel de conciencia normal	Consciente de sí mismo y del entorno externo, bien orientado, reactivo
Somnolencia	Tendencia extrema al sueño, pero responderá normalmente a los estímulos
Estado vegetativo crónico	Consciente pero sin respuesta, no hay evidencia de función cortical
ESTADOS INCONSCIENTES	
Sueño	Puede despertarse con estímulos normales (luz, tacto, sonido, etc.)
Estupor	Puede despertar con estímulos extremos y/o repetidos
Coma	No se le puede despertar y no responde a estímulos (los estados de coma pueden subdividirse adicionalmente de acuerdo con el efecto de las respuestas reflejas a los estímulos)

Envejecimiento y sistema nervioso

El proceso de envejecimiento afecta a todos los sistemas corporales, y el sistema nervioso no es una excepción. Los cambios anatómicos comienzan poco después de la madurez (probablemente hacia los 30 años de edad) y son acumulativos con el tiempo. Aunque se calcula que un 85% de los ancianos (por encima de los 65 años de edad) llevan una vida relativamente normal, existen cambios perceptibles en la función mental y el funcionamiento del SNC.

Los cambios anatómicos frecuentes relacionados con la edad en el sistema nervioso incluyen los siguientes:

1. *Una reducción del tamaño y el peso del encéfalo:* esta reducción deriva fundamentalmente de una reducción en el volumen de la corteza cerebral. El encéfalo de los individuos ancianos tiene circunvoluciones más estrechas y surcos más profundos que el de las personas jóvenes, y el espacio subaracnoideo y los ventrículos están aumentados de tamaño.
2. *Una reducción del número de neuronas:* la reducción del tamaño encefálico se ha relacionado con una pérdida de neuronas corticales. Sin embargo, la pérdida neuronal no ocurre en el mismo grado en todos los individuos ni en todos los núcleos del tronco del encéfalo.
3. *Una reducción del flujo sanguíneo del encéfalo:* con la edad, gradualmente se acumulan depósitos grasos en las paredes de los vasos sanguíneos y se reduce la velocidad del flujo sanguíneo arterial. (Este proceso, denominado *aterosclerosis*, puede afectar a las arterias de todo el organismo; se describe más adelante en el capítulo 22.) La reducción del flujo sanguíneo no causa una crisis cerebral, pero sí aumenta la probabilidad de que el individuo sufra un ictus.
4. *Cambios en la organización sináptica del encéfalo:* el número de ramificaciones e interconexiones dendríticas parece disminuir. Como se pierden conexiones sinápticas, la velocidad de producción de neurotransmisor disminuye.
5. *Cambios intracelulares y extracelulares en las neuronas del SNC:* muchas neuronas del encéfalo comienzan a acumular depósitos intracelulares anormales. Las *placas* son acumulaciones extracelulares de proteína fibrilar anómala, *amiloide,* rodeada por dendritas y axones anormales. Los *ovillos neurofibrilares* son masas de neurofibrillas que forman marañas densas dentro del soma. El significado de estas anomalías celulares y extracelulares sigue sin determinarse. Existen pruebas de que aparecen en

Nota clínica

Enfermedad de Alzheimer La **enfermedad de Alzheimer** es una enfermedad crónica y progresiva caracterizada por pérdida de memoria y deterioro de las funciones cerebrales superiores incluyendo el pensamiento abstracto, el juicio y la personalidad. Es la causa más frecuente de *demencia senil,* o *senilidad*. Los síntomas pueden aparecer a la edad de 50-60 años, o más tarde, aunque la enfermedad afecta ocasionalmente a individuos más jóvenes. La enfermedad de Alzheimer tiene un enorme impacto. En EE. UU. se calcula que tienen Alzheimer 4 millones de personas –incluyendo aproximadamente un 3% entre los que tienen entre 65 y 70 años, duplicándose el número por cada 5 años de aumento de la edad hasta cerca de un 50% en los mayores de 85 años, que padecen alguna forma del trastorno–. Más de 230.000 pacientes requieren atención domiciliaria, y la enfermedad de Alzheimer causa más de 53.000 muertes cada año.

La mayor parte de los casos de enfermedad de Alzheimer se asocian con grandes concentraciones de ovillos neurofibrilares y placas en el núcleo basal, el hipocampo y la circunvolución del parahipocampo. Estas regiones encefálicas están asociadas directamente con el procesamiento de la memoria. Sigue sin determinarse si estos depósitos causan la enfermedad de Alzheimer o si son signos secundarios de las alteraciones metabólicas que están teniendo lugar sobre una base ambiental, hereditaria o infecciosa.

En el síndrome de Down y en algunas formas hereditarias de enfermedad de Alzheimer, existen mutaciones que afectan a genes del cromosoma 21 o a una pequeña región del cromosoma 14 que conducen a un mayor riesgo de inicio precoz de la enfermedad. Otros factores genéticos realmente tienen un papel principal. La forma de inicio tardío de la enfermedad de Alzheimer se ha localizado en un gen del cromosoma 19 que codifica proteínas implicadas en el transporte del colesterol.

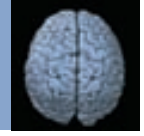
El diagnóstico incluye la exclusión de trastornos metabólicos y anatómicos que pueden simular una demencia, una anamnesis y exploración física detallada y una valoración de la función mental. Los síntomas iniciales son sutiles: melancolía, irritabilidad, depresión, y falta general de energía. Estos síntomas a menudo se ignoran, se pasan por alto o se rechazan. Los familiares ancianos son vistos como excéntricos o irascibles y se les sigue la corriente siempre que es posible.

A medida que el trastorno progresa, sin embargo, se hace más difícil ignorarlo o acostumbrarse. Un individuo con enfermedad de Alzheimer tiene dificultades para tomar decisiones, incluso las más simples. Comete errores –en ocasiones peligrosos–, por malos juicios o despistes. Por ejemplo, la persona podría encender el gas, colocar una cazuela en la cocina y marcharse al salón. Dos horas después, la cazuela, todavía en el fuego, se funde y comienza un incendio.

A medida que continúa la pérdida de memoria, los problemas se hacen más graves. El individuo puede olvidar a sus parientes, la dirección de su domicilio, o cómo utilizar el teléfono. La pérdida de memoria frecuentemente comienza con una incapacidad para almacenar los recuerdos a largo plazo, seguido por la pérdida de los recuerdos almacenados recientemente. Finalmente, los recuerdos a largo plazo básicos, como el sonido de su propio nombre, se olvidan. La pérdida de memoria afecta tanto a las capacidades intelectuales como motoras, y una persona con enfermedad de Alzheimer grave tiene dificultades para llevar a cabo incluso las tareas motoras más sencillas. Aunque en ese momento los pacientes son relativamente indiferentes a su estado mental o sus capacidades motoras, el trastorno puede continuar teniendo efectos emocionales devastadores en sus familiares cercanos.

Los individuos con enfermedad de Alzheimer muestran una disminución pronunciada en el número de neuronas corticales, especialmente en los lóbulos frontales y temporales. Esta pérdida se correlaciona con la producción inadecuada de ACh en el núcleo basal del cerebro. Los axones que salen de esa región se proyectan a toda la corteza cerebral; cuando la producción de ACh disminuye, la función cortical se deteriora.

No existe curación para la enfermedad de Alzheimer, pero unos pocos fármacos y suplementos enlentecen su progresión en muchos pacientes y reducen la necesidad de atención domiciliaria. Los antioxidantes vitamina E y ginkgo biloba y las vitaminas B del folato, B_6 y B_{12}, ayudan a algunos pacientes y pueden retrasar o prevenir la enfermedad. Los fármacos que incrementan los niveles de glutamato (un neurotransmisor del encéfalo) también tienen cierto beneficio adicional. Las diferentes toxicidades y efectos secundarios determinan qué combinación de fármacos utilizar. En ratones, una vacuna ha reducido los ovillos y placas en el encéfalo y ha mejorado su capacidad de correr en un laberinto. Un ensayo preliminar de una vacuna humana se ha detenido debido al desarrollo de casos de encefalitis inmune en algunos pacientes tratados. La modificación de la vacuna puede eliminar este problema, permitiendo estudios adicionales de este nuevo abordaje.



todos los cerebros con la edad, pero cuando están presentes en exceso parecen asociarse a anomalías clínicas.

Estos cambios anatómicos están relacionados con una serie de alteraciones funcionales. En general, el procesamiento nervioso se hace menos eficaz. Por ejemplo, la consolidación de la memoria con frecuencia se hace más difícil, y los sistemas sensitivos de los ancianos –sobre todo la audición, el equilibrio, la visión, el olfato y el gusto– se vuelven menos agudos. La luz debe ser más brillante, los sonidos más altos, y los olores más fuertes para ser percibidos. Los tiempos de reacción son más lentos y los reflejos –incluso algunos reflejos monosinápticos– se hacen más débiles o incluso desaparecen. Existe una disminución en la precisión del control motor, y lleva más tiempo realizar un patrón motor dado de lo que lo hacía 20 años antes. Para la mayoría de la población anciana, estos cambios no interfieren con su capacidad de funcionar en la sociedad. Pero por razones aún desconocidas, muchos individuos ancianos llegan a estar incapacitados por los cambios progresivos en el SNC. Con mucho, el trastorno incapacitante más frecuente es la *enfermedad de Alzheimer*.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué le ocurriría a un individuo dormido si su sistema activador reticular (SAR) fuera estimulado súbitamente?
2. ¿Qué estructuras anatómicas principales del SNC están afectadas por el envejecimiento?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Enfermedades cerebrovasculares Las **enfermedades cerebrovasculares** son trastornos cardiovasculares que interfieren con el aporte circulatorio normal al encéfalo. La distribución particular del vaso afectado determinará los síntomas, y el grado de deprivación de oxígeno o nutrientes determinará su gravedad. Un ictus, o **accidente cerebrovascular (ACV)** se produce cuando se corta la irrigación de una porción del encéfalo por un bloqueo vascular o una hemorragia. Las neuronas afectadas comienzan a morir en cuestión de minutos.

Los síntomas de un ictus proporcionan una indicación del vaso y la región del encéfalo afectados. Por ejemplo, la arteria carótida entra en el cráneo a través del conducto carotídeo. Una rama principal de la carótida, la *arteria cerebral media,* es la localización más frecuente de un ictus. Las ramas superficiales llevan la sangre al lóbulo temporal y a grandes porciones de los lóbulos frontal y parietal; las ramas profundas irrigan los ganglios basales y porciones del tálamo. Si un ictus bloquea la arteria cerebral media del lado izquierdo del encéfalo se producen afasia y parálisis del lado derecho. En un ictus que afecta a la arteria cerebral media del lado derecho, el individuo experimenta una pérdida de la sensibilidad y el control motor del lado izquierdo y tiene dificultad para establecer o interpretar las relaciones espaciales. Los ictus que afectan a los vasos que irrigan el tronco del encéfalo también producen síntomas distintivos; los que afectan a la parte baja del tronco del encéfalo con frecuencia son mortales. (En el capítulo 22 se encontrará información adicional sobre las causas, el diagnóstico y el tratamiento de los ictus.)

TÉRMINOS CLÍNICOS

accidente cerebrovascular (ACV): Trastorno en el cual la irrigación sanguínea de una porción del encéfalo está bloqueada.

afasia: Trastorno que afecta a la capacidad de hablar o leer.

amnesia: Pérdida temporal o permanente de la memoria por una enfermedad o traumatismo.

anencefalia: Raro trastorno en el cual el encéfalo no consigue desarrollarse a niveles por encima del mesencéfalo o de la parte baja del diencéfalo.

delirio: Estado de conciencia que incluye confusión y oscilaciones exageradas del nivel de conciencia.

demencia: Estado crónico de conciencia caracterizado por déficit de la memoria, la orientación espacial, el lenguaje o la personalidad.

dislexia: Trastorno que afecta a la comprensión y la utilización de las palabras.

enfermedad de Alzheimer: Trastorno progresivo caracterizado por la pérdida de las funciones cerebrales superiores.

enfermedad de Tay-Sachs: Enfermedad resultante de una anomalía genética que afecta al metabolismo de los *gangliósidos*. Los lactantes afectados parecen normales al nacimiento, pero la progresión de los síntomas incluye típicamente debilidad muscular, ceguera, convulsiones y muerte, generalmente antes de los 4 años.

enfermedades cerebrovasculares: Trastornos vasculares que interfieren con la irrigación arterial del encéfalo.

parálisis cerebral: Serie de trastornos que afectan a la ejecución motora voluntaria, que aparecen durante la lactancia o la infancia y persisten durante toda la vida del individuo afectado.

síndrome de desconexión: Síndrome causado por la sección del cuerpo calloso y la separación de los dos hemisferios cerebrales. Cada hemisferio continúa funcionando independientemente, y la mano derecha literalmente no sabe lo que está haciendo la mano izquierda.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 432

1. La información pasa continuamente entre el encéfalo, la médula espinal y los nervios periféricos. La información sensitiva se transmite a los centros de procesamiento del SNC, y las neuronas motoras controlan y ajustan las actividades de los efectores periféricos.

Vías motoras y sensitivas 432

1. Las vías transmiten la información sensitiva y motora entre el SNC, el SNP y los órganos y sistemas periféricos. Las vías ascendentes (sensitivas) y descendentes (motoras) contienen una cadena de tractos y núcleos asociados.

Vías sensitivas 432

2. Los receptores sensitivos detectan los cambios en el entorno corporal o externo y pasan esta información al SNC. Esta información, denominada **sensibilidad,** llega en forma de potenciales de acción en una fibra aferente *(sensitiva)*. La respuesta al estímulo depende de dónde tiene lugar el procesamiento.
3. Las neuronas sensitivas que llevan la sensibilidad al SNC se denominan **neuronas de primer orden.** Las **neuronas de segundo orden** son las neuronas del SNC con las que hacen sinapsis las neuronas de primer orden. Estas neuronas sinaptan con una **neurona de tercer orden** en el tálamo. El axón de la neurona de primer orden o segundo orden cruza al lado opuesto del SNC en un proceso denominado **decusación.** Por ello, el hemisferio cerebral derecho recibe la información sensitiva del lado izquierdo del cuerpo y viceversa *(v. tabla 16.1)*.

4. La **vía de la columna posterior** lleva la sensibilidad táctil fina, a la presión y propioceptiva (posicional). Los axones ascienden en el **fascículo grácil** y el **fascículo cuneiforme** y hacen sinapsis en el núcleo grácil y el núcleo cuneiforme del bulbo raquídeo. Después esta información se transmite al tálamo a través del **lemnisco medial.** La decusación se produce cuando la neurona de segundo orden entra en el lemnisco medial *(v. figuras 16.1/16.2 y tabla 16.1)*.
5. La naturaleza de cualquier estímulo y su localización se conocen porque la información se proyecta a una porción específica de la corteza sensitiva primaria. La percepción de sensaciones como el tacto depende de su procesamiento en el tálamo. La localización precisa es proporcionada por la corteza sensitiva primaria. El mapa funcional de la corteza sensitiva primaria se denomina el **homúnculo sensitivo** *(v. figura 16.2)*.
6. La **vía espinotalámica** lleva la sensibilidad poco localizada al tacto, la presión, el dolor y la temperatura. Los axones de las neuronas de segundo orden se decusan en la médula espinal y ascienden en los **tractos espinotalámicos anterior** y **lateral** hasta los núcleos ventrales posterolaterales del tálamo *(v. figura 16.2 y tabla 16.1)*.
7. La **vía espinocerebelosa,** incluyendo los **tractos espinocerebelosos posterior** y **anterior,** lleva al cerebelo la sensibilidad relacionada con la posición de los músculos, tendones y articulaciones *(v. figuras 16.1/16.2 y tabla 16.1)*.

Vías motoras 436

8. Las órdenes motoras del SNC son emitidas en respuesta a la información del sistema sensitivo. Estas órdenes se distribuyen mediante el *sistema nervioso somático (SNS)* a los músculos estriados o mediante el *sistema nervioso autónomo (SNA)* a los efectores viscerales *(v. figura 16.3)*.
9. Las vías motoras somáticas siempre incluyen una **neurona motora superior** (cuyo cuerpo celular se sitúa en un centro de procesamiento del SNC) y una **neurona motora inferior** (localizada en un núcleo motor del tronco del encéfalo o la médula espinal). El control motor autónomo requiere una **neurona preganglionar** (en el SNC) y una **neurona ganglionar** (en un ganglio periférico) *(v. figuras 16.3 a 16.5)*.
10. Las neuronas de la corteza motora primaria son las **células piramidales**; la **vía corticoespinal** proporciona un mecanismo directo y rápido para el control muscular esquelético voluntario. La vía corticoespinal consta de tres pares de tractos motores descendentes: 1) los *tractos corticonucleares bulbares*; 2) los *tractos corticoespinales laterales*, y 3) los *tractos corticoespinales anteriores*. El mapa funcional de la corteza motora primaria se denomina el **homúnculo motor** *(v. figura 16.4 y tabla 16.2)*.
11. Los **tractos corticonucleares bulbares** terminan en los núcleos motores de los nervios craneales que controlan los movimientos oculares, los músculos faciales, los músculos de la lengua, y los músculos cervicales y superficiales de la espalda *(v. figura 16.4a)*.
12. Los **tractos corticoespinales** hacen sinapsis con las neuronas motoras de las astas anteriores de la médula espinal y controlan el movimiento del cuello y el tronco y algunos movimientos coordinados del esqueleto axial. Son visibles a lo largo del lado ventral del bulbo raquídeo como un par de elevaciones gruesas, las **pirámides**, donde la mayor parte de los axones se decusan para entrar en los **tractos corticoespinales laterales**. Los axones restantes no se cruzan aquí y entran en los **tractos corticoespinales anteriores**. Estas fibras se cruzarán en la comisura gris anterior antes de hacer sinapsis con las neuronas motoras de las astas grises *(v. figura 16.4 y tabla 16.2)*.
13. Las **vías mediales** y **laterales** consisten en varios centros que pueden emitir órdenes motoras como resultado del procesamiento llevado a cabo a nivel inconsciente, involuntario. Estas vías pueden modificar o dirigir los patrones motores somáticos. Sus eferencias pueden descender con los *tractos*: 1) *vestibuloespinal*; 2) *tectoespinal*; 3) *reticuloespinal*, o 4) *rubroespinal (v. figuras 16.4/16.5 y tabla 16.2)*.
14. Los núcleos vestibulares reciben información sensitiva de los receptores del oído interno a través de N VIII. Estos núcleos envían órdenes motoras para mantener la postura y el equilibrio. Las fibras descienden a través de los **tractos vestibuloespinales** *(v. figura 16.5 y tabla 16.2)*.
15. Las órdenes que llevan los **tractos tectoespinales** cambian la posición de los ojos, la cabeza, el cuello y los brazos en respuesta a luces brillantes, movimientos súbitos o ruidos intensos *(v. figura 16.5 y tabla 16.2)*.
16. Las órdenes motoras que llevan los **tractos reticuloespinales** varían de acuerdo con la región estimulada. La formación reticular recibe aferencias de casi todas las vías ascendentes y descendentes y de numerosas interconexiones con los núcleos del cerebro, el cerebelo y el tronco del encéfalo *(v. figura 16.5 y tabla 16.2)*.
17. Los ganglios basales, el cerebelo y la formación reticular envían impulsos al núcleo rojo. Los **tractos rubroespinales** llevan órdenes motoras a las neuronas motoras inferiores que proporcionan un control complementario sobre los músculos distales de los miembros superiores. En el hombre, estos tractos son pequeños y tienen poco significado en circunstancias normales *(v. figura 16.5 y tabla 16.2)*.
18. Los **ganglios basales** ajustan las órdenes motoras emitidas por otros centros de procesamiento. No inician movimientos específicos, pero proporcionan un patrón de base una vez que se ha iniciado el movimiento *(v. figura 16.5 y tabla 16.2)*.
19. El **cerebelo** regula la actividad a lo largo de las vías conscientes (corticoespinales) y subconscientes (mediales y laterales). Las actividades de integración llevadas a cabo por las neuronas de la corteza cerebelosa y los núcleos cerebelosos son esenciales para el control preciso de los movimientos voluntarios e involuntarios. Después de iniciarse un movimiento voluntario, el cerebelo desencadena la inhibición de las unidades motoras innecesarias para completar el patrón de actividad *(v. figura 16.6)*.

Niveles de control motor somático 441

20. La información sensitiva ascendente se transmite desde un núcleo o centro a otro en una serie de pasos. El procesamiento de la información se produce en cada paso a lo largo del camino. Los pasos de procesamiento son importantes pero llevan un tiempo. Los núcleos de la médula espinal, el tronco del encéfalo y el cerebro trabajan juntos en varios reflejos complejos *(v. figura 16.6)*.

Funciones superiores 443

1. Las funciones superiores tienen ciertas características: 1) son llevadas a cabo por la corteza cerebral; 2) implican conexiones complejas de fibras entre áreas de la corteza cerebral y entre la corteza y otras áreas del encéfalo; 3) implican un procesamiento consciente e inconsciente de la información; y 4) están sujetas a modificación y ajuste con el tiempo *(v. figuras 16.7 a 16.9)*.

Regiones de integración de la corteza cerebral 443

2. Varias áreas corticales actúan como centros de integración superiores para los estímulos sensitivos y respuestas motoras complejos. Estos centros incluyen: 1) el *área interpretativa general*; 2) el *centro del habla*, y 3) la *corteza prefrontal (v. figura 16.7)*.
3. El **área interpretativa general** *(área gnóstica)* recibe información de todas las áreas de asociación sensitivas. Está presente sólo en un hemisferio, generalmente el izquierdo *(v. figuras 16.7b/16.8)*.
4. El **centro del habla** *(área de Broca)* regula los patrones de respiración y vocalización necesarios para el habla normal *(v. figura 16.7b)*.
5. La **corteza prefrontal** coordina la información de las áreas de asociación secundarias y especiales de toda la corteza y lleva a cabo funciones intelectuales abstractas *(v. figura 16.7b)*.
6. Muchas áreas funcionales de la corteza cerebral muestran un patrón característico de organización celular, como describió Brodmann *(v. figura 16.7c)*.

Especialización hemisférica 445

7. El hemisferio izquierdo generalmente es el **hemisferio categórico;** contiene el centro interpretativo general y del habla y es responsable de las habilidades basadas en el lenguaje. El hemisferio derecho, o **hemisferio representacional,** está relacionado con el análisis y las relaciones espaciales *(v. figuras 16.7/16.8)*.

Memoria 445

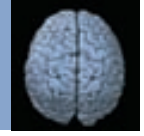
8. La **memoria** es el proceso de acceder a las porciones almacenadas de información reunida a través de la experiencia. Implica una interacción considerable entre la corteza cerebral y otras áreas del encéfalo. Los *recuerdos a corto plazo* duran segundos u horas; los *recuerdos a largo plazo* pueden durar años. La conversión de un recuerdo a corto plazo en un recuerdo a largo plazo se denomina *consolidación de la memoria*. El cuerpo amigdalino y el hipocampo son esenciales para la consolidación de la memoria.

Nivel de conciencia: el sistema activador reticular 446

9. El nivel de conciencia está determinado por las interacciones entre el tronco del encéfalo y la corteza cerebral. Uno de los componentes más importantes del tronco del encéfalo es una red en la formación reticular denominada **sistema activador reticular (SAR)** *(v. figura 16.9 y tabla 16.3)*.

Envejecimiento y sistema nervioso 447

1. Los cambios en el sistema nervioso relacionados con la edad incluyen: 1) *reducción del tamaño y el peso del encéfalo*; 2) *reducción del número de neuronas*; 3) *disminución del flujo sanguíneo del encéfalo*; 4) *cambios en la organización sináptica del encéfalo,* y 5) *cambios intracelulares y extracelulares en las neuronas del SNC*.



REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de hechos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. decusación	a. segundo orden
___ 2. sensitivo	b. dolor, temperatura, tacto grosero, presión
___ 3. interneurona	c. control voluntario del músculo estriado
___ 4. columna posterior	d. interpretativa general
___ 5. espinotalámico	e. aferente
___ 6. espinocerebeloso	f. información propioceptiva
___ 7. sistema corticoespinal	g. habla
___ 8. tractos tectoespinales	h. cruzamiento
___ 9. vía medial	i. cambio de posición relacionado con el sonido
___10. área gnóstica	j. orden motora subconsciente
___11. área de Broca	k. fascículos grácil y cuneiforme

12. Los axones ascienden en la columna posterior para alcanzar:
    (a) el núcleo grácil y el núcleo cuneiforme
    (b) el núcleo ventral del tálamo
    (c) el lóbulo posterior del cerebelo
    (d) el núcleo medial del tálamo

13. ¿Cuál de las siguientes es verdadera en relación con la vía espinotalámica?
    (a) sus neuronas hacen sinapsis en el asta anterior de la médula espinal
    (b) lleva la sensibilidad táctil, a la presión y a la temperatura desde el encéfalo hasta la periferia
    (c) transmite la información sensitiva al encéfalo, donde el cruzamiento tiene lugar en el tálamo
    (d) ninguna de las anteriores es correcta

14. ¿Cuál de los siguientes son tractos espinales de las vías mediales o laterales?
    (a) tractos vestibuloespinales
    (b) tractos tectoespinales
    (c) tractos reticuloespinales
    (d) todos los anteriores son correctos

15. Los axones del tracto corticoespinal hacen sinapsis con:
    (a) los núcleos motores de los nervios craneales
    (b) las neuronas motoras de las astas anteriores de la médula espinal
    (c) las neuronas motoras de las astas posteriores de la médula espinal
    (d) las neuronas motoras de los ganglios cerca de la médula espinal

16. ¿Qué par de términos está asociado correctamente?
    (a) lobotomía—capacidad para interpretar lo que se lee o se oye
    (b) área de Broca—centro del habla
    (c) corteza prefrontal—lóbulo de la ínsula
    (d) área interpretativa general—conexiones extensas con el sistema límbico

17. El cerebelo ajusta la actividad motora voluntaria e involuntaria en respuesta a cada uno de los siguientes, excepto:
    (a) datos propioceptivos
    (b) información visual
    (c) información de la corteza cerebral
    (d) información de los «centros vitales»

18. El nivel de conciencia depende del funcionamiento adecuado de
    (a) los lóbulos prefrontales
    (b) él área interpretativa general
    (c) el sistema activador reticular
    (d) el sistema límbico

19. ¿Cuál de los siguientes es esencial para la consolidación de la memoria?
    (a) el área 4 de Brodmann
    (b) los ganglios basales
    (c) el hipocampo
    (d) el lóbulo prefrontal

20. Cada una de las siguientes describe algún aspecto de la enfermedad de Alzheimer, excepto:
    (a) es la causa más frecuente de demencia senil
    (b) aparece más frecuentemente en pacientes con un ACV
    (c) se asocia a la formación de placas y ovillos neurofibrilares en las regiones del encéfalo que están implicadas en la memoria
    (d) se caracteriza por una pérdida progresiva de memoria

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿La disfunción de qué componentes neurológicos hace que una persona que ha bebido demasiado alcohol se tambalee cuando intenta caminar?
    (a) núcleos cerebelosos
    (b) tractos rubroespinales
    (c) lóbulos parietales
    (d) tractos tectoespinales

2. ¿En qué región del encéfalo esperarías encontrar un problema en una persona disléxica?
    (a) núcleos cerebrales
    (b) tracto tectoespinal
    (c) área de Broca
    (d) lóbulos occipitales

3. ¿Qué síntomas asociarías con una lesión del núcleo grácil en el lado derecho del bulbo raquídeo?
    (a) incapacidad para percibir el tacto fino en el miembro inferior izquierdo
    (b) incapacidad para percibir el tacto fino en el miembro inferior derecho
    (c) incapacidad para dirigir las actividades motoras finas que implican al hombro izquierdo
    (d) incapacidad para dirigir las actividades motoras finas que implican al hombro derecho

4. En el encéfalo de las personas zurdas que tienen habilidades matemáticas extremadamente buenas:
    (a) la región analítica está en el hemisferio derecho más a menudo que en los individuos diestros
    (b) la región analítica del encéfalo está en el hemisferio izquierdo en aproximadamente el 90% de los casos
    (c) el área interpretativa analítica siempre está en el hemisferio cerebral derecho
    (d) el cuerpo calloso es inusualmente grande

5. Describa la función de las neuronas de primer orden del SNC.

6. ¿Por qué las proporciones del homúnculo sensitivo difieren de las del cuerpo?

7. ¿Cuál es el papel fundamental de los núcleos cerebrales en la función de las vías mediales y laterales?

8. ¿Cómo influye el cerebelo sobre las actividades motoras globales del cuerpo?

9. ¿Dónde está el centro del habla y cuáles son sus funciones?

10. Compare las acciones dirigidas por las órdenes motoras de los tractos vestibuloespinales con las de los tractos reticuloespinales.

Nivel 3 Pensamiento crítico

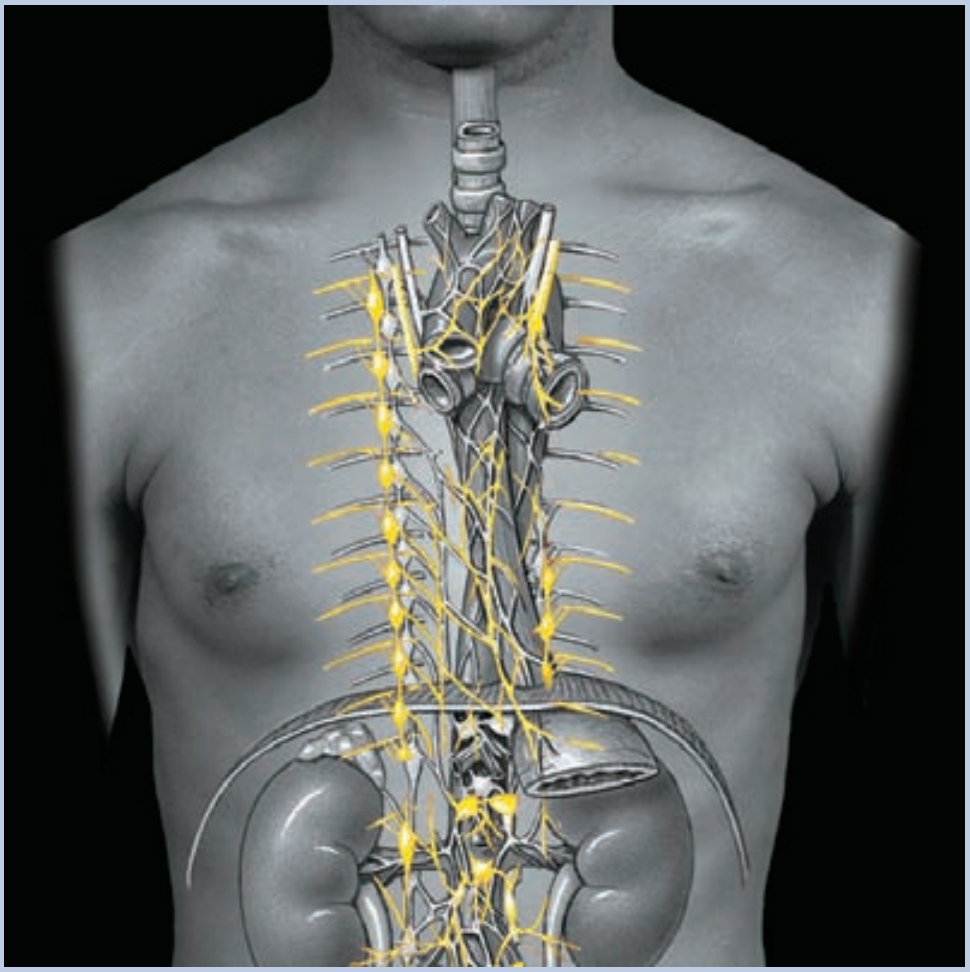
1. Cindy tiene un accidente montando en bicicleta y se lesiona la espalda. Es explorada por un médico que aprecia que no tiene sensibilidad al dolor (pinchazo) en la cadera y el miembro inferior izquierdos, pero tiene una sensibilidad normal en otras partes y no tiene problemas con el control motor en los miembros. El médico dice a Cindy que él piensa que puede estar comprimida una porción de la médula espinal, y esa es la causa de sus síntomas. ¿Dónde podría estar localizado el problema?

2. Una persona ingresa en el hospital con síntomas de afasia y parálisis sensitiva y motora del lado derecho del cuerpo. ¿Qué es lo más probable que le ha ocurrido, y qué estructuras anatómicas han sido afectadas con más probabilidad?

17

Sistema nervioso

División autónoma



Introducción 452

Comparación del sistema nervioso somático y autónomo 452

División simpática 453

División parasimpática 460

Relaciones entre las divisiones simpática y parasimpática 463

Integración y control de las funciones autónomas 464

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Identificar las principales estructuras del SNA y comparar las dos divisiones funcionales del sistema nervioso autónomo.
2. Describir la anatomía de la división simpática y su relación con la médula espinal y los nervios espinales.
3. Comentar los mecanismos de liberación de neurotransmisor por el sistema nervioso simpático.
4. Describir la anatomía de la división parasimpática y su relación con el encéfalo, los nervios craneales y la médula espinal sacra.
5. Comentar la relación entre las divisiones simpática y parasimpática y explicar las implicaciones de la inervación dual.
6. Describir los niveles de integración y control del sistema autónomo.

Nuestros pensamientos, planes y acciones conscientes representan sólo una minúscula fracción de las actividades del sistema nervioso. Si se eliminara toda conciencia, los procesos fisiológicos continuarían virtualmente sin cambios: el sueño nocturno no es un fenómeno que amenace la vida. Los estados de inconsciencia más prolongados y profundos no son necesariamente más peligrosos, siempre que se proporcione nutrición. Personas que han sufrido lesiones encefálicas graves han sobrevivido en coma durante décadas. La supervivencia en estas condiciones es posible porque los ajustes rutinarios de los sistemas fisiológicos son realizados por el sistema nervioso autónomo (SNA) fuera de nuestra percepción consciente. El SNA regula la temperatura corporal y coordina las funciones cardiovascular, respiratoria, digestiva, excretora y reproductora. Al hacerlo, ajusta las concentraciones internas de agua, electrólitos, nutrientes y gases disueltos en los líquidos corporales.

Este capítulo examina la estructura y las subdivisiones anatómicas del sistema nervioso autónomo. Cada subdivisión tiene una organización anatómica y funcional característica. Nuestro examen del SNA comenzará con una descripción de las divisiones simpática y parasimpática. Después analizaremos brevemente la forma en que estas divisiones mantienen y ajustan los distintos sistemas orgánicos para cubrir las necesidades fisiológicas siempre cambiantes del organismo.

Comparación del sistema nervioso somático y autónomo [v. figuras 16.3/17.1]

Es útil comparar la organización del sistema nervioso autónomo (SNA), que inerva los efectores viscerales, con el sistema nervioso somático (SNS), que se comentó en el capítulo 16. Los axones de las neuronas motoras inferiores del sistema nervioso somático se extienden desde el SNC para contactar y ejercer control directo sobre los músculos estriados [p. 436]. El SNA, como el SNS, tiene neuronas aferentes y eferentes. Como en el SNS, la información sensitiva aferente del SNA se procesa en el sistema nervioso central y después los impulsos eferentes se envían a los órganos efectores. Sin embargo, en el SNA, las vías aferentes se originan en los receptores viscerales, y las vías eferentes conectan con los órganos efectores viscerales.

Además de la diferencia en la localización del receptor y el órgano efector, el sistema nervioso autónomo difiere del sistema nervioso somático en la disposición de las neuronas que conectan el sistema nervioso central con los órganos efectores (**v. figura 16.3**) [p. 436]. En el SNA, el axón de una neurona motora visceral del SNC inerva una segunda neurona localizada en un ganglio periférico. Esta segunda neurona controla el efector periférico. Las neuronas motoras viscerales del SNC, conocidas como **neuronas preganglionares,** envían sus axones, denominados *fibras preganglionares*, para hacer sinapsis con las **neuronas ganglionares,** cuyos cuerpos celulares se localizan fuera del SNC en los ganglios autónomos. Los axones que salen de los ganglios autónomos son relativamente pequeños y no mielinizados. Estos axones se denominan *fibras posganglionares* porque llevan los impulsos más allá del ganglio (por esta razón algunas fuentes llaman a las neuronas *posganglionares*, aunque sus cuerpos celulares están en los ganglios). Las fibras posganglionares inervan los tejidos y órganos periféricos, como el músculo cardíaco y liso, el tejido adiposo y las glándulas.

Subdivisiones del SNA [v. figura 17.1]

El SNA contiene dos subdivisiones principales, la *división simpática* y la *división parasimpática* (**v. figura 17.1**). Más a menudo, las dos divisiones tiene efectos opuestos; si la división simpática causa excitación, la división parasimpática causa inhibición. Sin embargo, este no sucede siempre porque: 1) las dos divisiones pueden trabajar independientemente y algunas estructuras están inervadas sólo por una división, y 2) las dos divisiones pueden trabajar juntas, controlando cada fase de un proceso complejo. En general, la división parasimpática predomina en condiciones de reposo y la división simpática «empieza a andar» durante los momentos de ejercicio, estrés o situaciones de emergencia.

El SNA también incluye una tercera división de la que muchas personas nunca han oído: el *sistema nervioso entérico (SNE)*, una extensa red de neuronas y redes nerviosas localizadas en las paredes del aparato digestivo. Aunque las actividades del sistema nervioso entérico están influenciadas por las divisiones simpática y parasimpática, muchos reflejos viscerales complejos se inician y coordinan localmente, sin instrucciones procedentes del SNC. En conjunto, el SNE tiene aproximadamente 100 millones de neuronas (al menos tantas como la médula espinal) y todos los neurotransmisores que se encuentran en el encéfalo. En este capítulo nos centramos en las divisiones simpática y parasimpática que integran y coordinan las funciones viscerales en todo el organismo. Consideraremos las actividades del sistema nervioso entérico cuando comentemos los reflejos viscerales posteriormente en este capítulo, y cuando examinemos el control de la función digestiva en el capítulo 25.

División simpática (toracolumbar) [v. figura 17.1]

Las fibras preganglionares de los segmentos medulares torácicos y lumbares altos hacen sinapsis en los ganglios cerca de la médula espinal. Estos axones y ganglios forman parte de la **división simpática** o **toracolumbar** del SNA (**v. figura 17.1**). Esta división con frecuencia se denomina sistema de «lucha o huida» porque generalmente un incremento de la actividad simpática estimula el metabolismo tisular, incrementa el estado de alerta y prepara el organismo para actuar en situaciones de emergencia.

División parasimpática (craneosacra) [v. figura 17.1]

Las fibras preganglionares que se originan en tronco del encéfalo (nervios craneales III, VII, IX y X) o bien en la médula espinal sacra forman parte de la **división parasimpática** o **craneosacra** del SNA (**v. figura 17.1**). Las fibras preganglionares hacen sinapsis con las neuronas de los **ganglios terminales,** localizados cerca de los órganos diana, o de los **ganglios intramurales** (*murus*, pared), en los tejidos de los órganos diana. Esta división a menudo se denomina sistema de «descanso y reposo» porque conserva la energía y promueve las actividades sedentarias, como la digestión.

Patrones de inervación

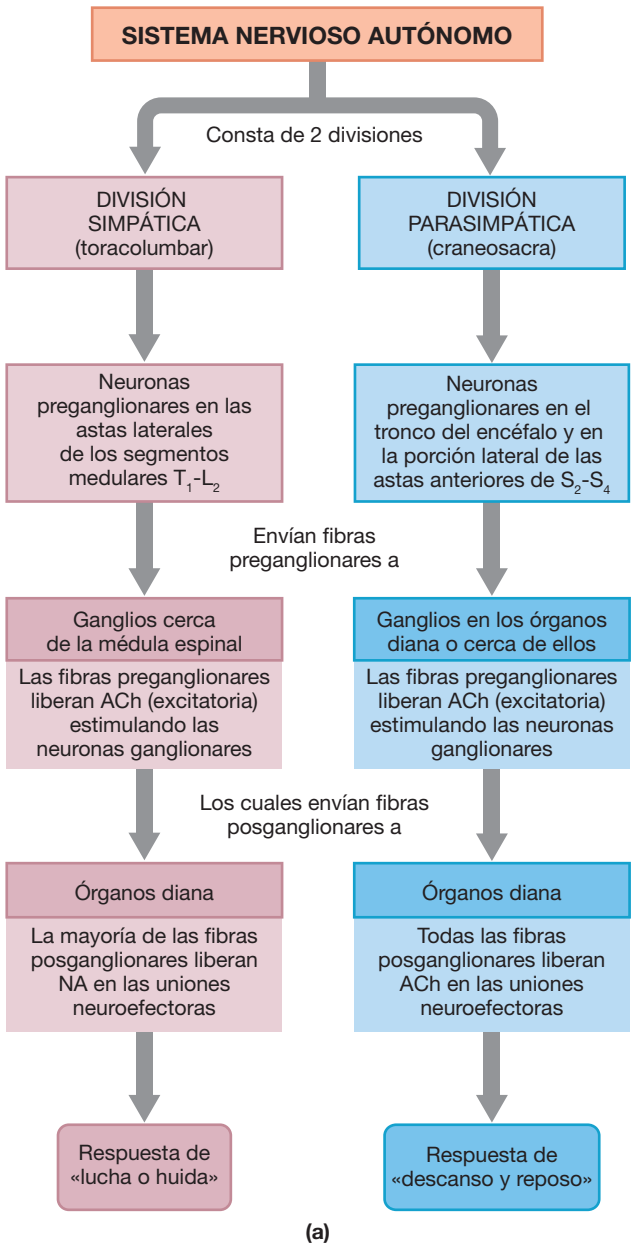
Las divisiones simpática y parasimpática del SNA influyen en sus órganos diana a través de la liberación controlada de neurotransmisores por las fibras posganglionares. La actividad del órgano diana puede estimularse o inhibirse dependiendo de la respuesta del receptor del plasmalema (membrana plasmática) a la presencia del neurotransmisor. Tres afirmaciones generales describen los neurotransmisores del SNA y sus efectos:

1. Todas las fibras autónomas preganglionares liberan acetilcolina (ACh) en sus terminaciones sinápticas. Los efectos siempre son estimulantes.
2. Las fibras parasimpáticas posganglionares también liberan ACh, pero los efectos pueden ser estimulantes o inhibitorios dependiendo de la naturaleza del receptor.
3. La mayor parte de las terminaciones simpáticas posganglionares liberan el neurotransmisor **noradrenalina (NA).** Los efectos generalmente son estimulantes.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Describa la(s) diferencia(s) entre las neuronas preganglionares y ganglionares.
2. Enumere las dos subdivisiones del sistema nervioso autónomo. ¿Qué nombre o término frecuente se aplica a cada una de ellas?
3. ¿Qué neurotransmisor es liberado por la mayor parte de las terminaciones simpáticas posganglionares?
4. ¿Qué órganos están inervados por las fibras posganglionares del sistema nervioso autónomo?

Véase «Respuestas» al final del libro.


SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO
Consta de 2 divisiones
DIVISIÓN SIMPÁTICA (toracolumbar)
DIVISIÓN PARASIMPÁTICA (craneosacra)
Neuronas preganglionares en las astas laterales de los segmentos medulares T_1-L_2
Neuronas preganglionares en el tronco del encéfalo y en la porción lateral de las astas anteriores de S_2-S_4
Envían fibras preganglionares a
Ganglios cerca de la médula espinal
Ganglios en los órganos diana o cerca de ellos
Las fibras preganglionares liberan ACh (excitatoria) estimulando las neuronas ganglionares
Las fibras preganglionares liberan ACh (excitatoria) estimulando las neuronas ganglionares
Los cuales envían fibras posganglionares a
Órganos diana
Órganos diana
La mayoría de las fibras posganglionares liberan NA en las uniones neuroefectoras
Todas las fibras posganglionares liberan ACh en las uniones neuroefectoras
Respuesta de «lucha o huida»
Respuesta de «descanso y reposo»
(a)

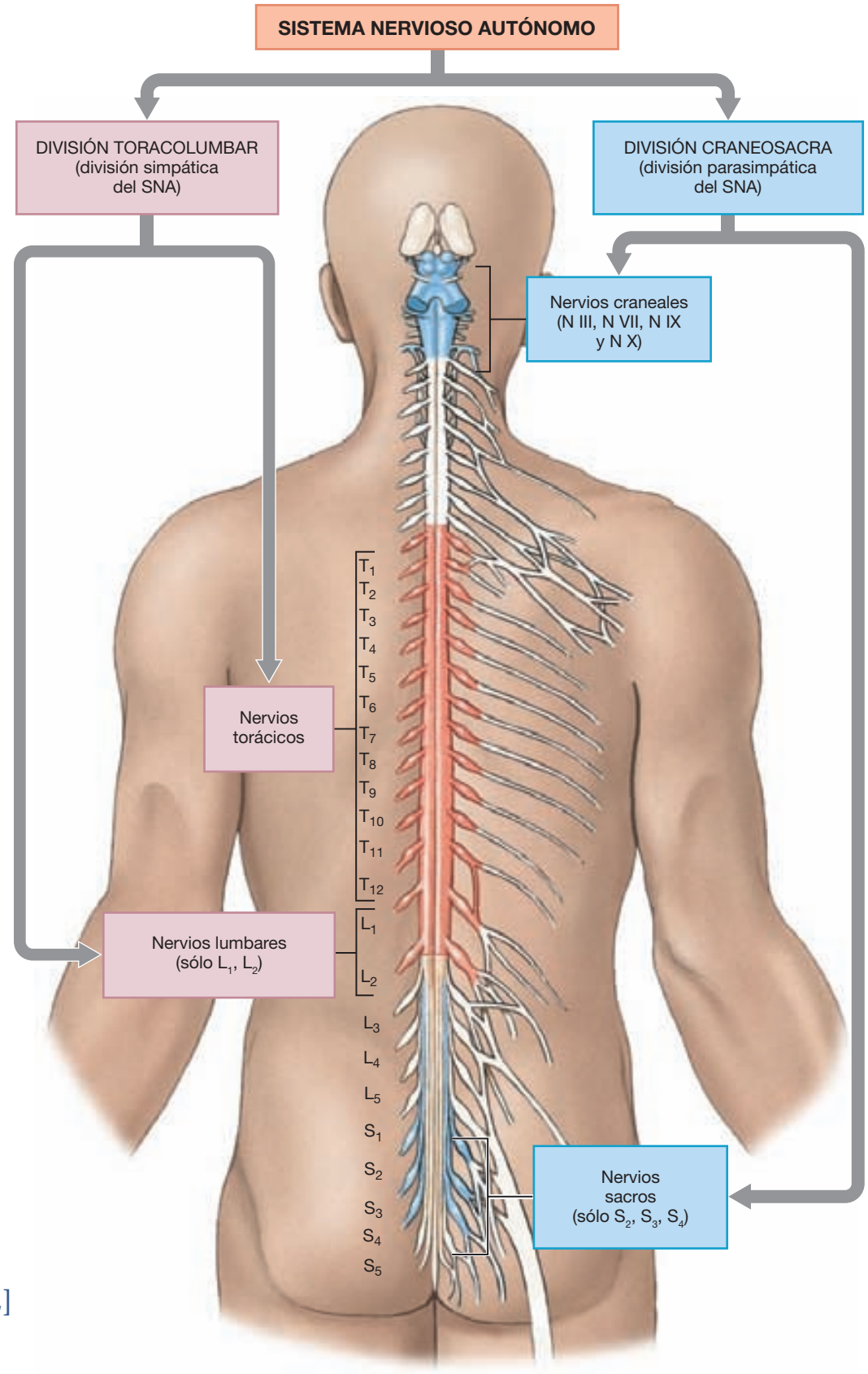

SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO
DIVISIÓN TORACOLUMBAR (división simpática del SNA)
DIVISIÓN CRANEOSACRA (división parasimpática del SNA)
Nervios craneales (N III, N VII, N IX y N X)
Nervios torácicos
Nervios lumbares (sólo L_1, L_2)
Nervios sacros (sólo S_2, S_3, S_4)
T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12}
L_1 L_2 L_3 L_4 L_5
S_1 S_2 S_3 S_4 S_5
(b)

Figura 17.1 Componentes y subdivisiones anatómicas del SNA

(a) Componentes funcionales. **(b)** Subdivisiones anatómicas. A nivel torácico y lumbar, las fibras eferentes viscerales que emergen forman la división simpática *que se detalla en la figura 17.4*. A nivel craneal y sacro, las fibras eferentes viscerales del SNC forman la división parasimpática, *detallada en la figura 17.8*.

División simpática [v. figura 17.2]

La división simpática (**v. figura 17.2**) consta de lo siguiente:

1. *Neuronas preganglionares localizadas entre los segmentos T_1 y L_2 de la médula espinal:* los cuerpos celulares de estas neuronas ocupan las astas laterales entre T_1 y L_2 y sus axones entran en las raíces ventrales de esos segmentos.
2. *Neuronas ganglionares en los ganglios cerca de la columna vertebral:* en la división simpática existen dos tipos de ganglios:
   - *Ganglios de la cadena simpática*, también llamados *ganglios paravertebrales* o *laterales*, se sitúan lateralmente a cada lado de la columna vertebral. Las neuronas de estos ganglios controlan los efectores de la pared corporal, la cabeza y el cuello y los miembros, y del interior de la cavidad torácica.
   - *Ganglios colaterales*, también conocidos como *ganglios prevertebrales*, se sitúan anteriores a la columna vertebral. Las neuronas de estos ganglios inervan los efectores de la cavidad abdominopélvica.
3. *Neuronas especializadas en el interior de la glándula suprarrenal:* el centro de cada glándula suprarrenal, un área conocida como *médula suprarrenal*, es un ganglio simpático modificado. Las neuronas ganglionares aquí tienen axones muy cortos y, cuando se estimulan, liberan neurotransmisores al torrente sanguíneo para su distribución por todo el organismo como hormonas.

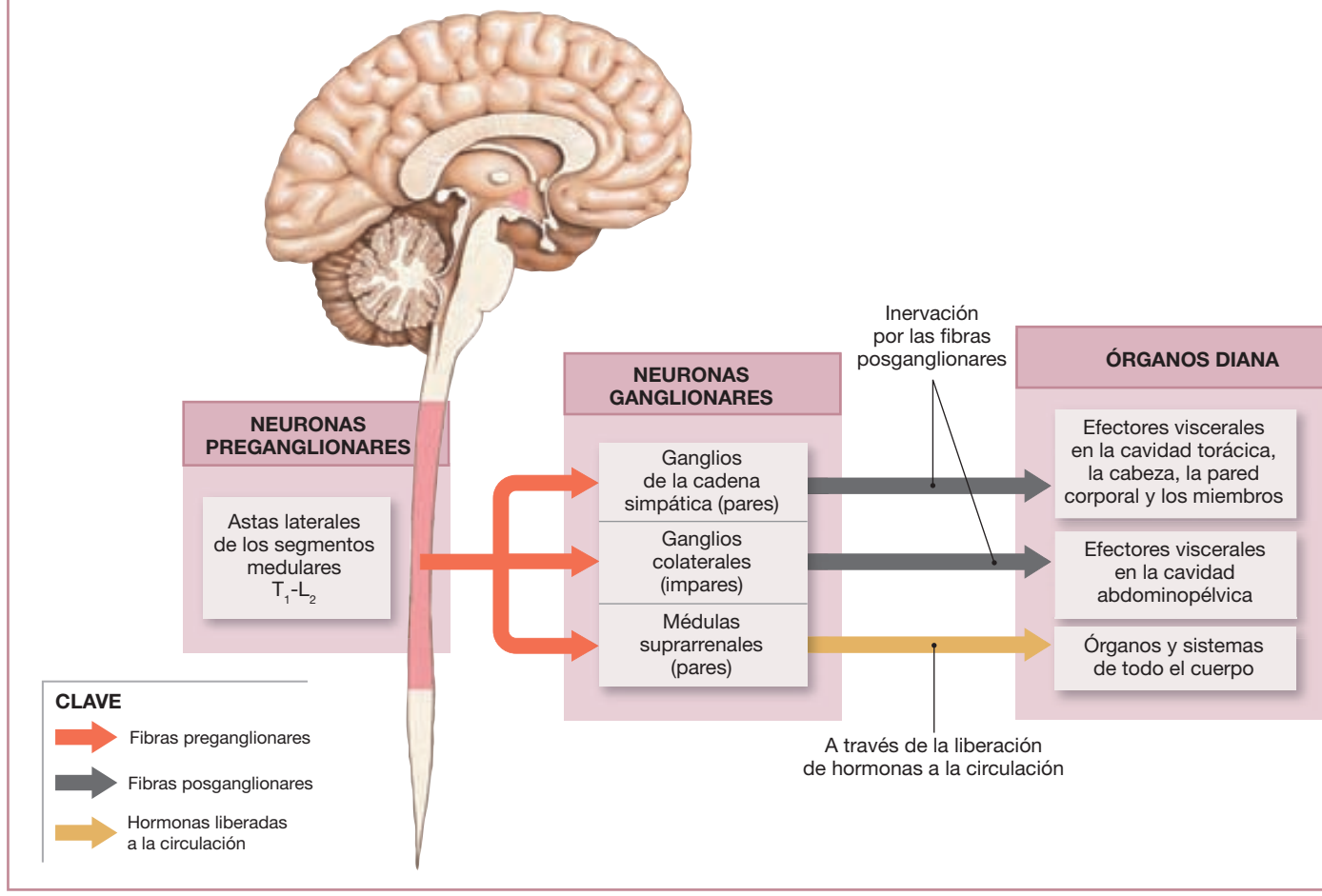

DIVISIÓN SIMPÁTICA DEL SNA
NEURONAS PREGANGLIONARES
Astas laterales de los segmentos medulares T_1-L_2
NEURONAS GANGLIONARES
Ganglios de la cadena simpática (pares)
Ganglios colaterales (impares)
Médulas suprarrenales (pares)
Inervación por las fibras posganglionares
ÓRGANOS DIANA
Efectores viscerales en la cavidad torácica, la cabeza, la pared corporal y los miembros
Efectores viscerales en la cavidad abdominopélvica
Órganos y sistemas de todo el cuerpo
A través de la liberación de hormonas a la circulación
CLAVE
Fibras preganglionares
Fibras posganglionares
Hormonas liberadas a la circulación

Figura 17.2 Organización de la división simpática del SNA
Este diagrama pone de relieve las relaciones entre las neuronas preganglionares y ganglionares y entre las neuronas ganglionares y los órganos diana.

Ganglios de la cadena simpática

[v. figuras 17.1a/17.2/17.3]

Las raíces ventrales de los segmentos medulares T_1 a L_2 contienen fibras preganglionares simpáticas. El patrón básico de inervación simpática en estas regiones se describió en la **figura 17.1a**. Cada raíz ventral se une con la correspondiente raíz dorsal, que lleva las fibras sensitivas aferentes, para formar un nervio espinal que pasa a través de un agujero intervertebral [p. 362]. Cuando pasa el agujero, desde el nervio espinal se ramifica un *ramo blanco*, o *ramo comunicante blanco* (**v. figura 17.3a**). El ramo blanco lleva las fibras preganglionares mielinizadas a un ganglio cercano de la cadena simpática. Las fibras que entran en un ganglio de la cadena simpática pueden tener uno de tres destinos: 1) pueden hacer sinapsis en el ganglio de la cadena simpática a nivel de su entrada (**v. figura 17.3a**); 2) pueden ascender o descender en la cadena simpática y hacer sinapsis en un ganglio a un nivel diferente; o 3) pueden atravesar la cadena simpática sin hacer sinapsis y seguir hasta uno de los ganglios colaterales (**v. figura 17.3b**) o la médula suprarrenal (**v. figura 17.3c**). En la división simpática se produce una extensa divergencia, y una fibra preganglionar puede hacer sinapsis hasta con 32 neuronas ganglionares. Las fibras preganglionares que se proyectan entre los ganglios de la cadena simpática los interconectan, haciendo que la cadena recuerde un collar de cuentas. Cada ganglio de la cadena simpática inerva un segmento o grupo de segmentos corporales particulares.

Si una fibra preganglionar lleva órdenes motoras destinadas a estructuras de la pared corporal o la cavidad torácica, hará sinapsis en uno o más de los ganglios de la cadena simpática. Después las fibras posganglionares amielínicas salen de la cadena simpática y avanzan hasta sus objetivos periféricos con los nervios espinales y los nervios simpáticos. Las fibras posganglionares que inervan las estructuras de la pared corporal, como las glándulas sudoríparas de la piel o los músculos lisos de los vasos sanguíneos superficiales, entran en el *ramo gris (ramo comunicante gris)* y vuelven al nervio espinal para su posterior distribución. Sin embargo, los nervios espinales no proporcionan inervación motora a las estructuras de las cavidades corporales ventrales. Las fibras posganglionares que inervan los órganos viscerales de la cavidad torácica, como el corazón y los pulmones, se dirigen directamente a sus objetivos periféricos como nervios simpáticos. Estos nervios generalmente se denominan según sus órganos diana principales, como en el caso de los *nervios cardíacos* y los *nervios esofágicos*.

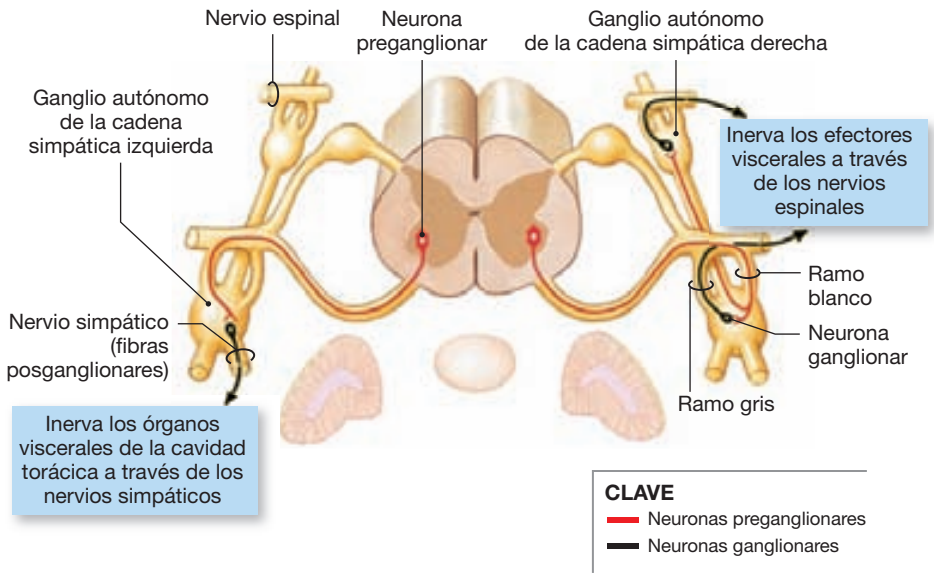
Funciones de la cadena simpática [v. figura 17.3a]

Los resultados fundamentales del aumento de actividad a lo largo de las fibras posganglionares que salen de los ganglios de la cadena simpática con los nervios espinales y los nervios simpáticos se resumen en la **figura 17.3a**. En general, las respuestas de las células diana ayudan a preparar al individuo para una crisis que requerirá una actividad física súbita e intensiva.

Anatomía de la cadena simpática [v. figura 17.4]

Cada cadena simpática tiene tres ganglios simpáticos cervicales, 11-12 torácicos, 2-5 lumbares, 4-5 sacros y un ganglio simpático coccígeo. El número puede variar porque los ganglios adyacentes pueden fusionarse. Por ejemplo, los ganglios coccígeos de ambos lados generalmente se fusionan para formar un único ganglio medio, el *ganglio impar*, mientras que el ganglio cervical inferior y el primer ganglio torácico de ambos lados ocasionalmente se fusionan para formar el *ganglio*

(a) GANGLIOS DE LA CADENA SIMPÁTICA


Nervio espinal
Neurona preganglionar
Ganglio autónomo de la cadena simpática derecha
Ganglio autónomo de la cadena simpática izquierda
Inerva los efectores viscerales a través de los nervios espinales
Ramo blanco
Nervio simpático (fibras posganglionares)
Neurona ganglionar
Ramo gris
Inerva los órganos viscerales de la cavidad torácica a través de los nervios simpáticos
CLAVE
Neuronas preganglionares
Neuronas ganglionares

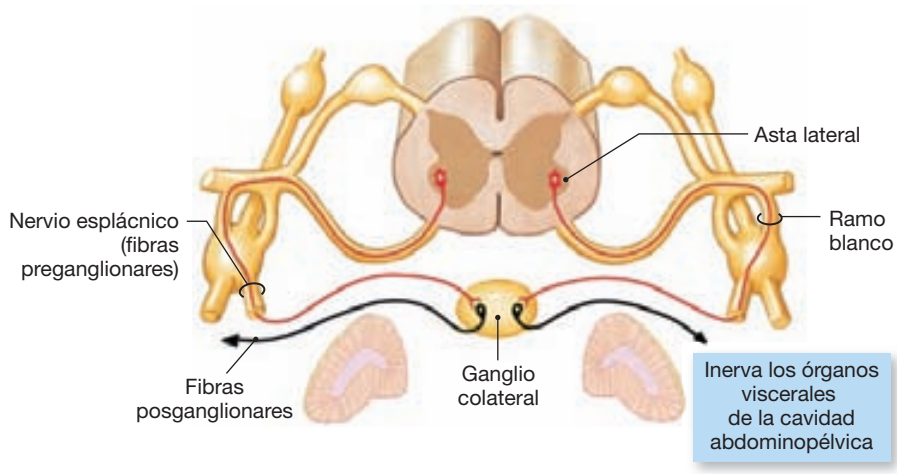
Principales efectos producidos por las fibras posganglionares simpáticas de los nervios espinales:

- Constricción de los vasos sanguíneos cutáneos, reducción de la circulación de la piel y de la mayoría de los demás órganos de la pared corporal
- Aceleración del flujo sanguíneo en los músculos esqueléticos y el encéfalo
- Estimulación de la producción y la utilización de energía por el tejido muscular esquelético
- Liberación de los lípidos almacenados en el tejido adiposo subcutáneo
- Estimulación de la secreción de las glándulas sudoríparas
- Estimulación de los erectores del pelo
- Dilatación de las pupilas y focalización de los objetos distantes

Principales efectos producidos por las fibras posganglionares que entran en la cavidad torácica con los nervios simpáticos:

- Aceleración de la frecuencia cardíaca e incremento de la fuerza de las contracciones cardíacas
- Dilatación de las vías respiratorias

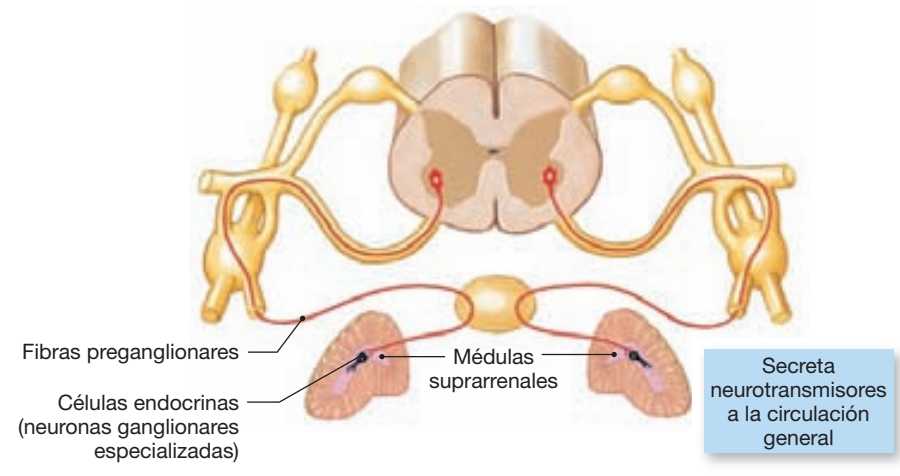
(b) GANGLIOS COLATERALES



Principales efectos producidos por las fibras preganglionares que inervan los ganglios colaterales:

- Constricción de las pequeñas arterias y reducción del flujo sanguíneo de los órganos viscerales
- Disminución de la actividad de las glándulas y órganos digestivos
- Estimulación de la liberación de glucosa desde las reservas de glucógeno del hígado
- Estimulación de la liberación de lípidos desde el tejido adiposo
- Relajación del músculo liso de la pared de la vejiga urinaria
- Reducción de la velocidad de formación de orina en los riñones
- Control de algunos aspectos de la función sexual, como la eyaculación en los varones

(c) MÉDULAS SUPRARRENALES



Efecto principal producido por las fibras preganglionares que inervan las médulas suprarrenales:

- Liberación de adrenalina y noradrenalina a la circulación general

Figura 17.3 Vías simpáticas y sus funciones generales

Las fibras preganglionares salen de la médula espinal en las raíces ventrales de los nervios espinales. Hacen sinapsis con las neuronas ganglionares de **(a)** los ganglios de la cadena simpática, **(b)** los ganglios colaterales, o **c)** las médulas suprarrenales. Estos cortes se observan en una vista inferior, el formato estándar de los cortes radiológicos y las vistas en sección del sistema nervioso.

estrellado. Las neuronas simpáticas preganglionares están limitadas a los segmentos T_1-L_2 de la médula espinal, y los nervios espinales de estos segmentos tienen tanto ramos blancos (fibras preganglionares) como ramos grises (fibras posganglionares). Las neuronas de los ganglios de la cadena simpática cervical, lumbar inferior y sacra están inervadas por fibras preganglionares que se extienden a lo largo del eje de la cadena. A su vez, estos ganglios de la cadena proporcionan fibras posganglionares, a través de los ramos grises, a los nervios espinales cervicales, lumbares y sacros. *Cada nervio espinal tiene un ramo gris que lleva fibras posganglionares simpáticas*. Aproximadamente un 8% de los axones de cada nervio espinal son fibras posganglionares simpáticas. Los ramos dorsales y ventrales de los nervios espinales proporcionan una extensa inervación simpática a las estructuras de la pared corporal y los miembros. En la cabeza, las fibras posganglionares que salen de los ganglios de la cadena cervical inervan las regiones y estructuras inervadas por los nervios craneales N III, N VII, N IX y N X (**v. figura 17.4**).

En resumen: 1) sólo los ganglios torácicos y lumbares superiores reciben fibras preganglionares de los ramos blancos; 2) los ganglios de la cadena cervical, lumbar inferior y sacra reciben inervación preganglionar de los segmentos torácico y lumbar superior a través de las fibras preganglionares que ascienden o descienden a lo largo de la cadena simpática, y 3) cada nervio espinal recibe un ramo gris de un ganglio de la cadena simpática.

Esta disposición anatómica tiene consecuencias funcionales interesantes. Si se lesionan las raíces ventrales de los nervios espinales torácicos, no habrá función motora simpática en el lado afectado de la cabeza, el cuello y el tronco. En cambio, la lesión de las raíces ventrales de los nervios espinales cervicales producirá parálisis muscular voluntaria en el lado afectado, *pero dejará una función simpática intacta* porque las fibras preganglionares que inervan los ganglios cervicales se originan en los ramos blancos de los segmentos torácicos, los cuales están indemnes.

Ganglios colaterales [v. figura 17.3b/17.4]

Las fibras preganglionares que regulan las actividades de las vísceras abdominopélvicas se originan en las neuronas preganglionares de los segmentos torácico inferior y lumbar superior de la médula espinal. Estas fibras pasan por la cadena simpática sin hacer sinapsis y convergen para formar los **nervios esplácnicos mayor, menor** y **lumbares** en la pared dorsal de la cavidad abdominal. Los nervios esplácnicos de ambos lados del cuerpo convergen en los ganglios colaterales (**v. figuras 17.3b** y **17.4**). Los ganglios colaterales, que tienen un aspecto variable, se localizan anteriores y laterales a la aorta descendente. Estos ganglios son con más frecuencia estructuras únicas en lugar de pares.

Funciones de los ganglios colaterales [v. figura 17.3b]

Las fibras posganglionares que se originan en los ganglios colaterales se extienden por la cavidad abdominopélvica, inervando los tejidos y órganos viscerales. En la **figura 17.3b** se incluye un resumen de los efectos del incremento de la actividad simpática a lo largo de estas fibras posganglionares. El patrón general es: 1) una reducción del flujo sanguíneo, de la utilización de energía y de la actividad de los órganos viscerales que no son importantes para la supervivencia a corto plazo (como el aparato digestivo), y 2) la liberación de las reservas de energía almacenadas.

Anatomía de los ganglios colaterales [v. figuras 17.4/17.9]

Los nervios esplácnicos (mayor, menor, lumbares y sacros) inervan tres ganglios colaterales. Las fibras preganglionares de los siete segmentos torácicos inferiores terminan en el **ganglio celíaco** y el **ganglio mesentérico superior.** Estos ganglios están alojados en una extensa red de fibras nerviosas similares a una tela de araña que se denomina un *plexo autónomo*. Las fibras preganglionares de los segmentos lumbares forman los nervios esplácnicos que terminan en el **ganglio mesentérico inferior.** Estos ganglios se esquematizan en la **figura 17.4** y se detallan en la **figura 17.9**, p. 463. Los nervios esplácnicos sacros terminan en el *plexo hipogástrico*, una red autónoma que inerva los órganos pélvicos y los genitales externos.

Ganglio celíaco Las fibras posganglionares del ganglio celíaco inervan el estómago, el duodeno, el hígado, la vesícula biliar, el páncreas y el bazo. El ganglio celíaco tiene un aspecto variable. Más a menudo consta de un par de masas de sustancia gris interconectadas en la base del *tronco celíaco*. El ganglio celíaco también puede formar un único conjunto de masas muy pequeñas entremezcladas.

Nota clínica

Hipersensibilidad y función simpática Dos trastornos clínicos interesantes derivan de la alteración de las funciones simpáticas normales. En el **síndrome de Horner** se interrumpe la inervación posganglionar simpática de un lado de la cara. La interrupción puede ser consecuencia de una lesión, un tumor o alguna enfermedad progresiva como la esclerosis múltiple. El lado afectado de la cara se enrojece a medida que disminuye el tono vascular. La sudoración disminuye en la región y la pupila de ese lado se encuentra marcadamente contraída. Otros síntomas incluyen un párpado caído y un aparente repliegue del ojo dentro de la órbita.

El **fenómeno de Raynaud primario,** también denominado **enfermedad de Raynaud,** afecta más frecuentemente a mujeres jóvenes. En este trastorno, por razones desconocidas, el sistema simpático ordena transitoriamente una vasoconstricción periférica excesiva de las pequeñas arterias, generalmente en respuesta a las temperaturas frías. Las manos, los pies, las orejas y la nariz llegan a estar deprivados de su circulación sanguínea normal y la piel en estas áreas cambia de color, poniéndose inicialmente pálida y después desarrollando un tono azulado. Un color rojo cierra el ciclo a medida que retorna el flujo sanguíneo normal. Los síntomas pueden extenderse a las áreas adyacentes a medida que progresa el trastorno. La mayor parte de los casos no causan lesión tisular, aunque en raras ocasiones la reducción del flujo sanguíneo puede distorsionar la piel y las uñas, progresando incluso hasta úlceras cutáneas o hasta la muerte tisular más extensa o gangrena seca.

Los cambios conductuales, como evitar ambientes fríos o llevar guantes y otras prendas de protección, generalmente pueden reducir la frecuencia de aparición. Dejar de fumar y evitar fármacos que pueden causar vasoconstricción también puede ser beneficioso. Los fármacos que evitan la vasoconstricción (vasodilatadores) pueden utilizarse si las medidas preventivas demuestran ser ineficaces.

Un traumatismo como una congelación o una lesión acumulativa causada por el uso crónico de máquinas vibratorias pueden causar síntomas de síndrome de Raynaud. También pueden aparecer en individuos con enfermedades arteriales y en trastornos del tejido conjuntivo como esclerodermia, artritis reumatoide y lupus eritematoso sistémico (LES). Estas formas secundarias de síndrome de Raynaud generalmente mejoran con el tratamiento del trastorno subyacente.

Una simpatectomía regional, seccionando las fibras que proporcionan la inervación simpática al área afectada, ocasionalmente puede ser beneficiosa. En condiciones normales, el tono simpático proporciona a los efectores un nivel basal de estimulación. Después de la eliminación de la inervación simpática, los efectores periféricos pueden hacerse extremadamente sensibles a la noradrenalina y la adrenalina. Esta hipersensibilidad puede producir alteraciones extremas del tono vascular y de otras funciones tras la estimulación de la médula suprarrenal. Si la simpatectomía incluye la sección de las fibras posganglionares, la hipersensibilidad a la noradrenalina y adrenalina circulantes puede eliminar los efectos beneficiosos. El pronóstico mejora si se seccionan las fibras preganglionares, porque las neuronas ganglionares continuarán liberando pequeñas cantidades de neurotransmisor en las sinapsis neuromusculares o neuroglandulares. Esta liberación evita que los efectores periféricos se vuelvan hipersensibles.

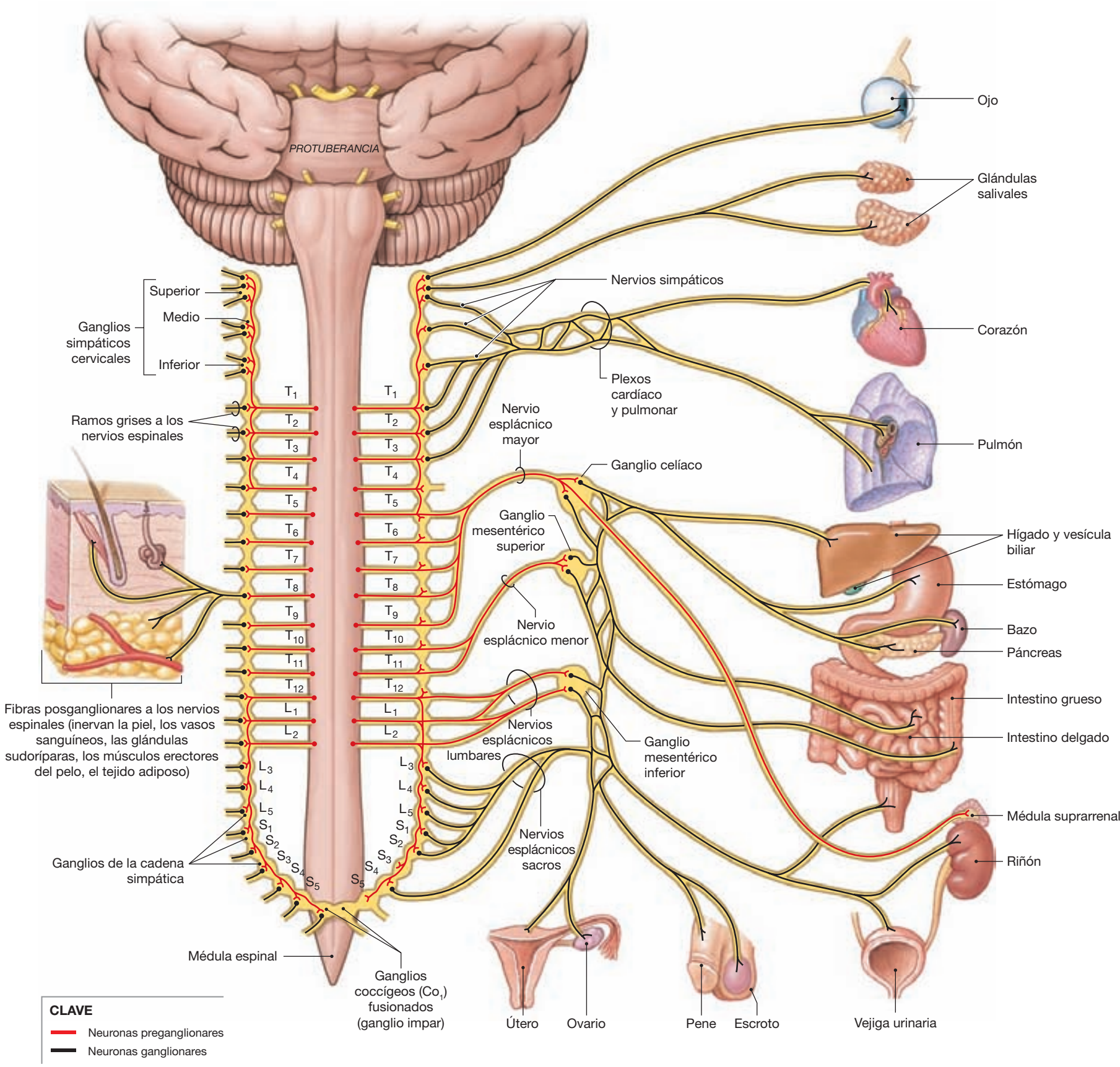


Figura 17.4 Distribución anatómica de las fibras posganglionares simpáticas
El lado izquierdo de esta figura muestra la distribución de las fibras posganglionares simpáticas a través de los ramos grises y los nervios espinales. El lado derecho muestra la distribución de las fibras preganglionares y posganglionares que inervan los órganos viscerales. Sin embargo, *ambos* patrones de inervación se encuentran a *cada* lado del cuerpo.

Ganglio mesentérico superior El ganglio mesentérico superior está localizado cerca de la base de la *arteria mesentérica superior*. Las fibras posganglionares que salen del ganglio mesentérico superior inervan el intestino delgado y los segmentos iniciales del intestino grueso.

Ganglio mesentérico inferior El ganglio mesentérico inferior se localiza cerca de la base de la *arteria mesentérica inferior*. Las fibras posganglionares de este ganglio proporcionan inervación simpática a las porciones terminales del intestino grueso, al riñón y la vejiga, y a los órganos sexuales.

Médulas suprarrenales [v. figuras 17.3c/17.4/17.5]

Algunas fibras preganglionares que se originan entre T_5 y T_8 pasan a través de la cadena simpática y el ganglio celíaco sin hacer sinapsis y continúan hasta la **médula suprarrenal** (v. figuras 17.3c, 17.4 y 17.5). Allí, estas fibras preganglionares establecen sinapsis con neuronas modificadas que desempeñan una función endocrina. Estas neuronas tienen axones muy cortos. Cuando son estimulados, liberan los neurotransmisores *adrenalina* (A) y *noradrenalina* (NA) a una extensa red de capilares (v. figura 17.5). Entonces los neurotransmisores funcionan como hormonas, ejerciendo sus efectos en otras regiones del cuerpo. La adrenalina, también llamada *epinefrina*, supone un 75%-80% de la secreción; el resto es noradrenalina *(norepinefrina).*

La sangre circulante distribuye después estas hormonas a través del organismo. Esto causa cambios en las actividades metabólicas de muchas células diferentes. En general, los efectos recuerdan a los producidos por la estimulación de las fibras posganglionares simpáticas. Pero difieren en dos aspectos: 1) las células no inervadas por las fibras posganglionares simpáticas están influenciadas por los niveles circulantes de adrenalina y noradrenalina si poseen receptores para estas moléculas, y 2) los efectos duran mucho más que los producidos por la inervación simpática directa porque las hormonas liberadas continúan difundiendo a la sangre circulante durante un período prolongado.

Efectos de la estimulación simpática

La división simpática puede modificar la actividad de los tejidos y los órganos mediante la liberación de noradrenalina en las sinapsis periféricas y mediante la distribución de adrenalina y noradrenalina a través del organismo en el torrente sanguíneo. Las fibras motoras destinadas a efectores específicos como las fibras musculares lisas de los vasos sanguíneos de la piel, pueden activarse mediante reflejos que no incluyen otros efectores periféricos. Sin embargo, en una crisis responde toda la división. Este fenómeno, denominado **activación simpática,** afecta a los tejidos periféricos y altera la actividad del SNC. La activación simpática está controlada por los centros simpáticos del hipotálamo.

Cuando se produce la activación simpática, el individuo experimenta lo siguiente:

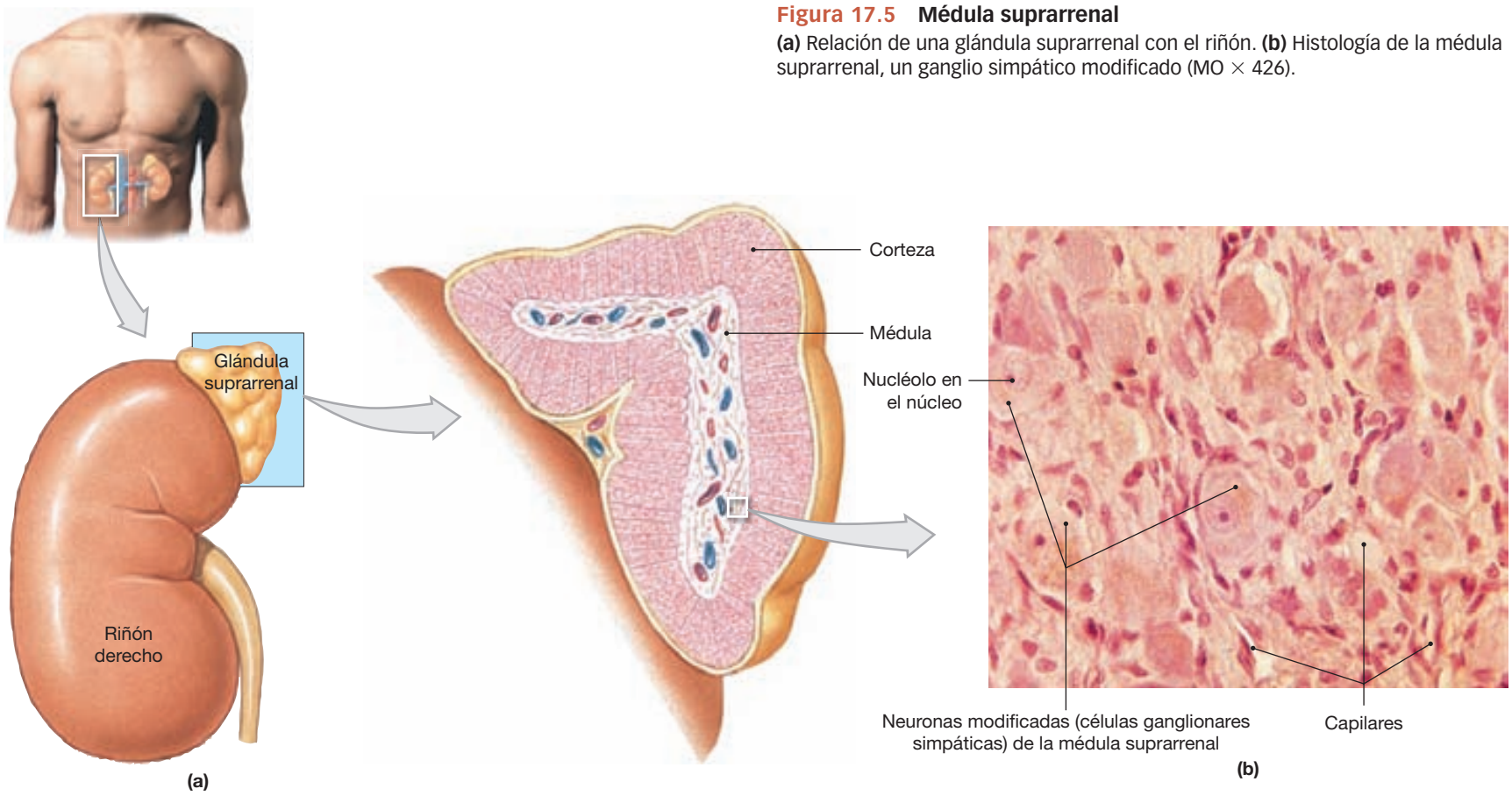
1. Incremento del estado de alerta, mediante estimulación del sistema activador reticular, causando en el individuo una sensación de «estar en peligro».
2. Una sensación de energía y euforia, a menudo asociada con una despreocupación por el peligro y una insensibilidad transitoria a los estímulos dolorosos.
3. Incremento de actividad de los centros cardiovascular y respiratorio de la protuberancia y el bulbo raquídeo, conduciendo a un aumento de la frecuencia y la fuerza de contracción cardíacas, elevación de la presión arterial, la frecuencia respiratoria y la profundidad de la respiración.
4. Un incremento general del tono muscular a través de la estimulación del sistema extrapiramidal, de modo que la persona *parece* tensa e incluso puede comenzar a temblar.
5. La movilización de las reservas de energía, mediante la degradación acelerada del glucógeno en las células musculares y hepáticas y la liberación de lípidos por el tejido adiposo.

Estas alteraciones, junto con los cambios periféricos ya comentados, completan la preparación necesaria para que el individuo se enfrente a situaciones estresantes y potencialmente peligrosas. Ahora consideraremos la base celular de los efectos generales de la activación simpática sobre los órganos periféricos.

Activación simpática y liberación de neurotransmisores [v. figura 17.6]

Cuando están activas, las fibras preganglionares simpáticas liberan ACh en sus sinapsis con las neuronas ganglionares. Estas son sinapsis *colinérgicas* [pp. 354-355]. La ACh liberada siempre estimula las neuronas ganglionares. Esta estimulación de las neuronas ganglionares generalmente conduce a la liberación de noradrenalina en las uniones neuroefectoras. Estas terminaciones simpáticas se deno-

Figura 17.5 Médula suprarrenal
(a) Relación de una glándula suprarrenal con el riñón. **(b)** Histología de la médula suprarrenal, un ganglio simpático modificado (MO × 426).



minan *adrenérgicas*. La división simpática también contiene un número pequeño, pero significativo, de neuronas ganglionares que liberan ACh, en lugar de NA, en sus uniones neuroefectoras. Por ejemplo, en las uniones neuroefectoras simpáticas de la pared corporal, en la piel y en los músculos estriados se libera ACh.

La **figura 17.6** detalla una unión neuroefectora simpática representativa. En lugar de terminar en un único botón sináptico, la telodendria forma una red extensa de ramificaciones. Cada rama recuerda un collar de cuentas, y cada cuenta, o **varicosidad,** está llena de mitocondrias y vesículas de neurotransmisor. Estas varicosidades pasan a lo largo o cerca de las superficies de muchas células efectoras. Un único axón puede tener 20.000 varicosidades que pueden influir sobre docenas de células circundantes. Las proteínas receptoras están diseminadas por la mayor parte del plasmalema, y no existen plasmalemas postsinápticos especializados.

Los efectos del neurotransmisor liberado por las varicosidades persisten como máximo durante unos pocos segundos antes de que el neurotransmisor sea reabsorbido, degradado por enzimas o eliminado por difusión al torrente sanguíneo. En cambio, los efectos de la A y NA secretadas por la médula suprarrenal son de duración considerablemente más prolongada porque: 1) el torrente sanguíneo no contiene las enzimas que degradan la adrenalina o la noradrenalina, y 2) la mayoría de los tejidos contienen concentraciones relativamente bajas de estas enzimas. Como consecuencia, la estimulación suprarrenal causa efectos amplios que continúan durante un tiempo relativamente prolongado. Por ejemplo, las concentraciones tisulares de adrenalina pueden continuar elevadas durante tanto tiempo como 30 segundos, y los efectos pueden persistir varios minutos.

Receptores del plasmalema y función simpática

Los efectos de la estimulación simpática derivan fundamentalmente de las interacciones con los receptores del plasmalema sensibles a la adrenalina y noradrenalina. (Unas pocas uniones neuroefectoras simpáticas liberan ACh; estas se detallarán en breve.) Existen dos clases de receptores simpáticos sensibles a A y NA: *receptores alfa* y *receptores beta*. Cada una de estas clases de receptores tiene dos o tres subtipos. La diversidad de los receptores y su presencia sola o en combinación explica la variabilidad de las respuestas de los órganos diana a la estimulación simpática. En general, la adrenalina estimula ambas clases de receptores, mientras que la noradrenalina estimula principalmente los receptores alfa.

Receptores alfa y beta

La estimulación de los **receptores alfa** de la superficie de las células musculares lisas causa constricción de los vasos sanguíneos periféricos y cierre de los esfínteres del aparato digestivo. Los **receptores beta** se encuentran en muchos órganos, incluyendo los músculos estriados, el músculo liso que rodea las vías respiratorias, el corazón y el hígado. La estimulación de estos receptores beta desencadena cambios en la actividad metabólica de las células diana. Los efectos dependen de las enzimas que están implicadas. La respuesta más frecuente es un incremento de la actividad metabólica. En los músculos estriados y cardíacos, la estimulación del receptor beta no causa su contracción. Sin embargo, los músculos estriados utilizan la energía a una velocidad más rápida, y el corazón se contrae más rápido y con más fuerza. En otros órganos diana la A y NA tienen un efecto inhibitorio. Por ejemplo, la dilatación de los vasos sanguíneos que irrigan los músculos estriados y el aumento de tamaño de los conductos respiratorios (dos respuestas importantes a la activación simpática) se deben a la relajación de las células musculares lisas. Esta relajación se produce por la estimulación de los receptores beta de su plasmalema.

Estimulación simpática y ACh

Aunque la inmensa mayoría de las fibras posganglionares simpáticas liberan NA y son adrenérgicas, unas pocas fibras posganglionares son colinérgicas. La activación de estas fibras simpáticas estimula la secreción de las glándulas sudoríparas y la dilatación de los vasos sanguíneos del músculo estriado. Los efectores viscerales tanto de la pared corporal como de los músculos estriados están inervados sólo por la división simpática del SNA. Por tanto, la distribución de las fibras colinérgicas posganglionares simpáticas proporciona un método de regulación de la secreción de las glándulas sudoríparas y controla selectivamente el flujo sanguíneo a los músculos estriados, mientras que la noradrenalina liberada por las terminaciones adrenérgicas reduce el flujo sanguíneo a otros tejidos de la pared corporal.

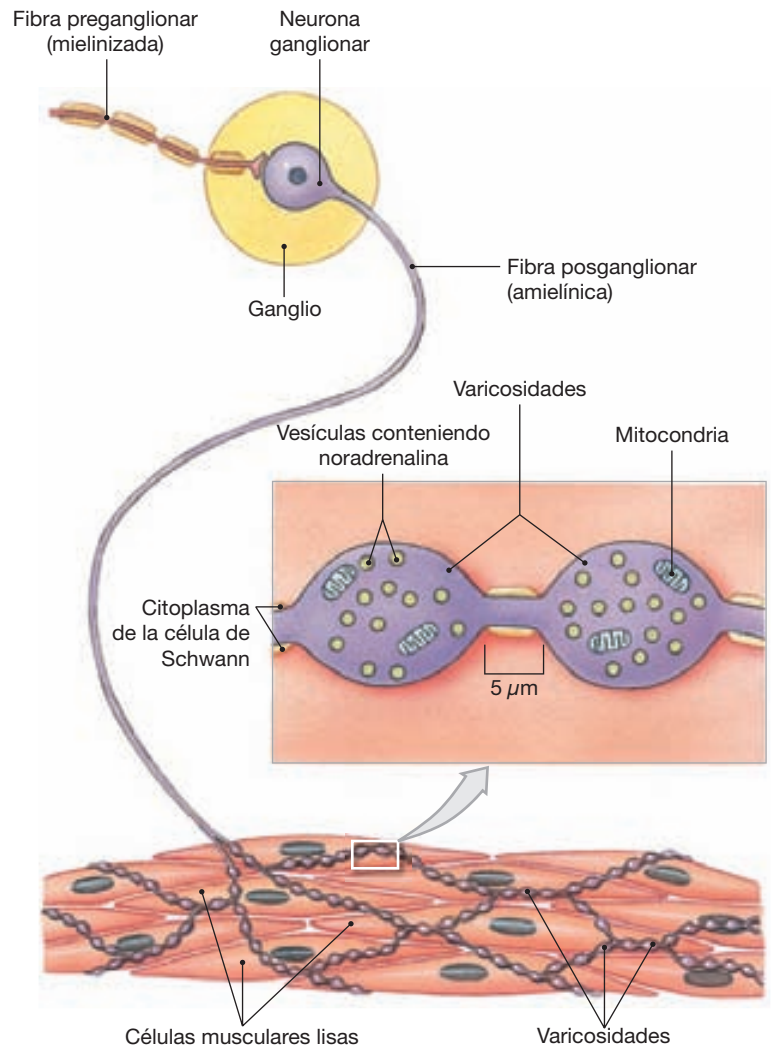


Figura 17.6 Terminaciones nerviosas posganglionares simpáticas
Vista esquemática de las uniones neuroefectoras simpáticas.

Resumen de la división simpática [v. tabla 17.1]

1. La división simpática del SNA incluye dos cadenas simpáticas que recuerdan un collar de cuentas, una a cada lado de la columna vertebral, tres ganglios colaterales anteriores a la columna vertebral, y dos médulas suprarrenales.
2. Las fibras preganglionares son cortas porque los ganglios están próximos a la médula espinal. Las fibras posganglionares son relativamente largas y se extienden una distancia considerable antes de alcanzar sus órganos diana (en el caso de la médula suprarrenal, los axones muy cortos de las neuronas ganglionares modificadas terminan en capilares que llevan sus secreciones al torrente sanguíneo).
3. La división simpática muestra una extensa divergencia; una única fibra preganglionar puede inervar hasta 32 neuronas ganglionares en varios ganglios diferentes. Como consecuencia, una única neurona motora simpática del SNC puede controlar gran variedad de efectores periféricos y producir una respuesta compleja y coordinada.
4. Todas las neuronas preganglionares liberan ACh en sus sinapsis con las neuronas ganglionares. La mayor parte de las fibras posganglionares liberan noradrenalina, pero unas pocas liberan ACh.

5. La respuesta del efector depende de la función del receptor del plasmalema activado cuando la adrenalina o la noradrenalina se unen a sus receptores alfa o beta.

La tabla 17.1 (p. 464) resume las características de la división simpática del SNA.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Dónde se originan las fibras nerviosas que hacen sinapsis en los ganglios colaterales?
2. A los individuos con presión arterial elevada puede administrárseles una medicación que bloquea los receptores beta. ¿Cómo ayudaría este tratamiento en su trastorno?
3. ¿Cuáles son los dos tipos de ganglios simpáticos y dónde están localizados?

Véase «Respuestas» al final del libro.

División parasimpática [v. figura 17.7]

Las neuronas de la división parasimpática del SNA (**v. figura 17.7**) se clasifican en los siguientes tipos:

1. *Neuronas preganglionares localizadas en el tronco del encéfalo y en los segmentos sacros de la médula espinal*: en el encéfalo, el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo contienen núcleos autónomos asociados con los nervios craneales III, VII, IX y X. En los segmentos sacros de la médula espinal, los núcleos autónomos se sitúan en los segmentos medulares S_2-S_4.
2. *Neuronas ganglionares en los ganglios periféricos localizados muy cerca, o incluso dentro, de los órganos diana*: como se comentó previamente (p. 452), las neuronas ganglionares de la división parasimpática se encuentran en los ganglios terminales (cerca de los órganos diana) o en los ganglios intramurales (en los tejidos de los órganos diana). Las fibras preganglionares de la división parasimpática no divergen tan extensamente como las de la división simpática. Una fibra preganglionar típica hace sinapsis con seis a ocho neuronas ganglionares. Estas neuronas se localizan todas en el mismo ganglio, y sus fibras posganglionares influyen sobre el mismo órgano diana. Como consecuencia, *los efectos de la estimulación parasimpática son más específicos y localizados que los de la división simpática*.

Organización y anatomía de la división parasimpática [v. figura 17.8]

Las fibras preganglionares parasimpáticas salen del encéfalo con los nervios craneales III (oculomotor), VII (facial), IX (glosofaríngeo) y X (vago) (**v. figura 17.8**). Las fibras de N III, N VII, N IX y N X ayudan a controlar las estructuras vis-

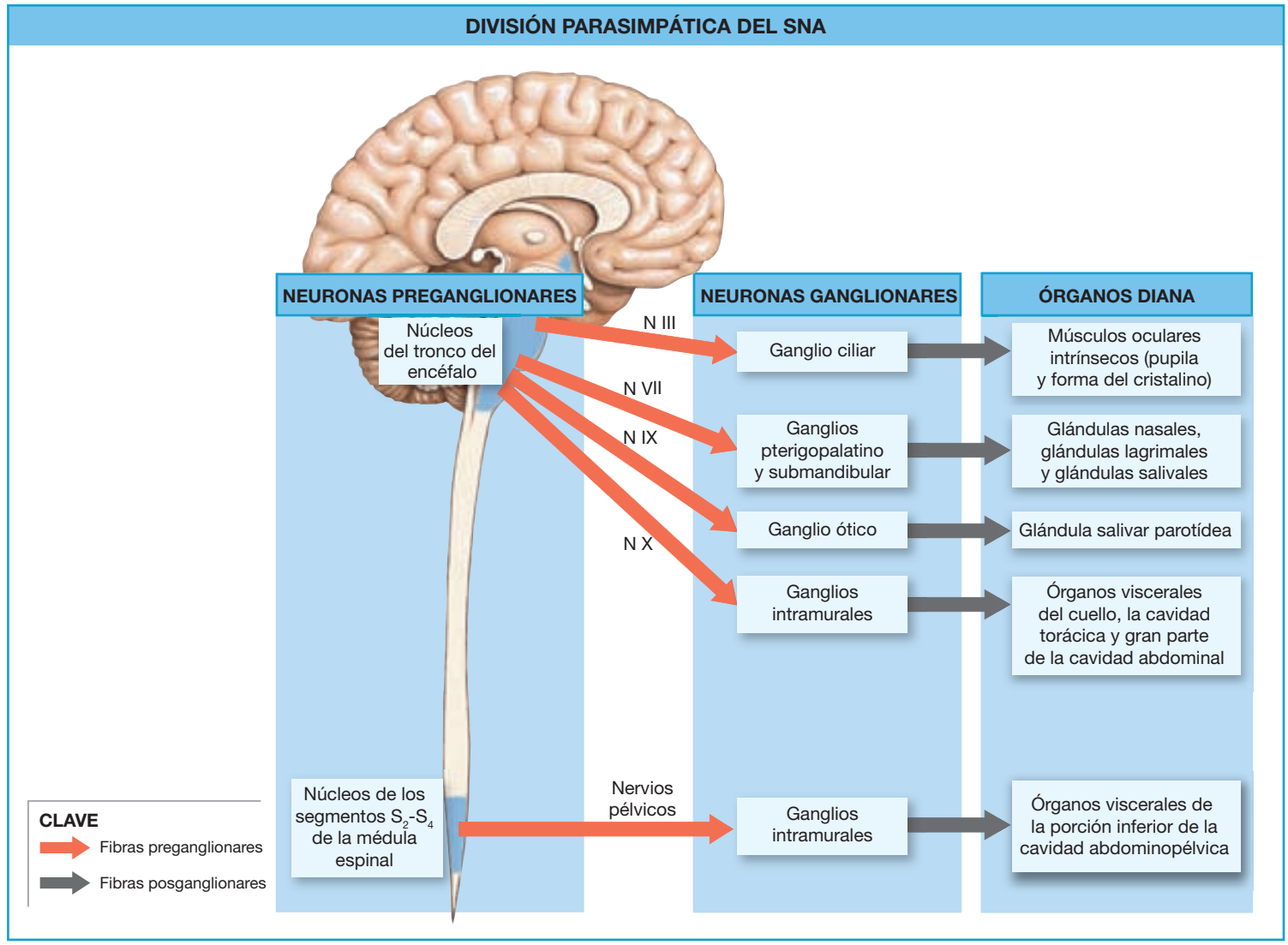


Figura 17.7 Organización de la división parasimpática del SNA
Este diagrama resume las relaciones entre las neuronas preganglionares y ganglionares y entre las neuronas ganglionares y los órganos diana.

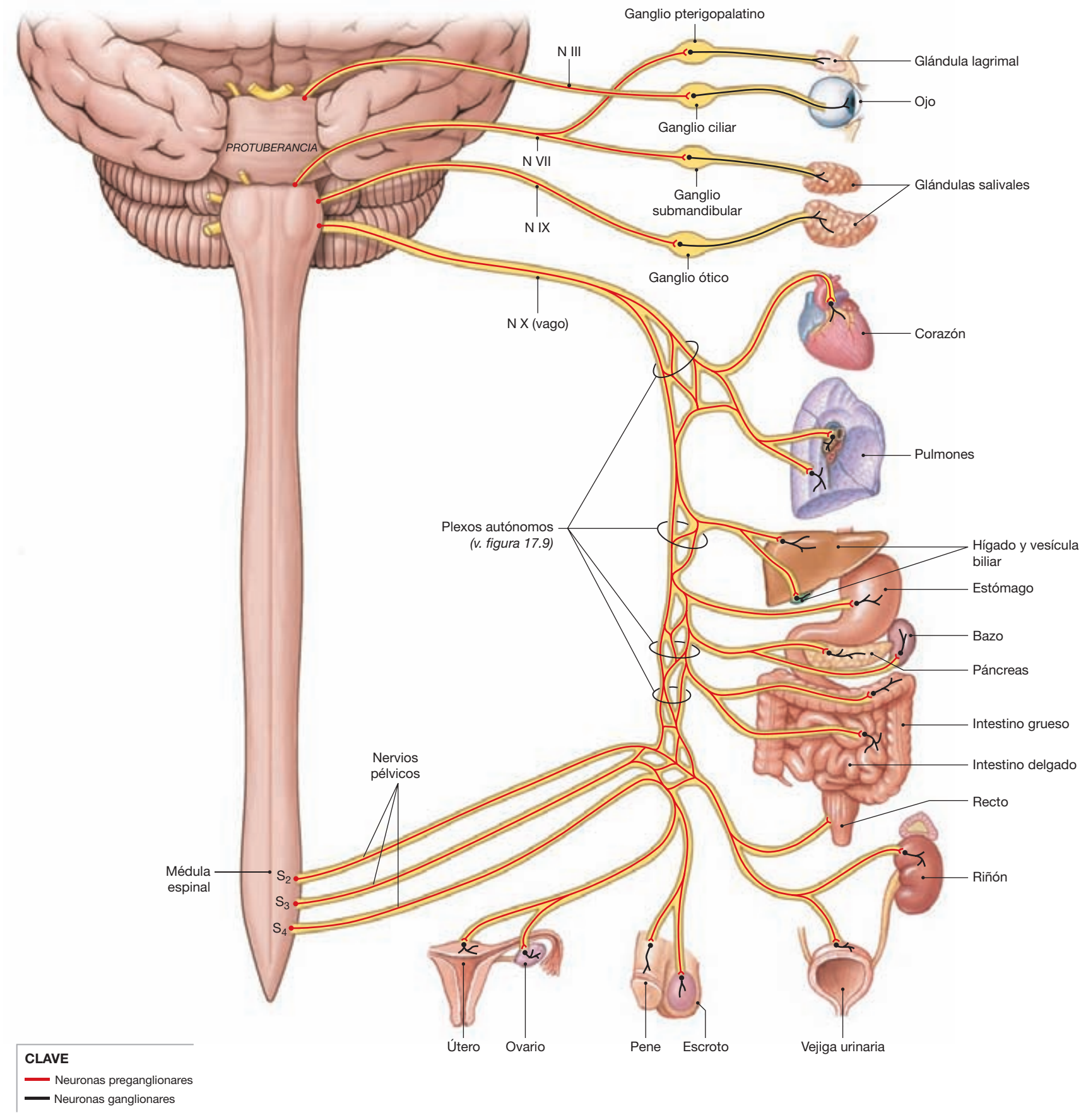


Figura 17.8 **Distribución anatómica de las eferencias parasimpáticas**
Las fibras preganglionares salen del SNC a través de los nervios craneales o los nervios pélvicos. El patrón de inervación de los órganos diana es similar a cada lado del cuerpo aunque sólo se ilustran los nervios del lado izquierdo.

cerales de la cabeza. Estas fibras preganglionares hacen sinapsis en los **ganglios ciliar, pterigopalatino, submandibular** y **ótico** [pp. 420-424]. Después las cortas fibras posganglionares continúan hasta sus objetivos periféricos. El nervio vago proporciona inervación parasimpática preganglionar a los ganglios intramurales de estructuras de la cavidad torácica y la cavidad abdominopélvica tan distantes como los últimos segmentos del intestino grueso. El nervio vago solo proporciona aproximadamente el 75% de toda la inervación parasimpática.

Las eferencias parasimpáticas sacras no se unen a los ramos ventrales de los nervios espinales [pp. 369-461]. En su lugar, las fibras preganglionares forman **nervios pélvicos** diferenciados que inervan los ganglios intramurales del riñón y la vejiga urinaria, las porciones terminales del intestino grueso y los órganos sexuales.

Funciones generales de la división parasimpática

Una lista parcial de los principales efectos producidos por la división parasimpática incluye los siguientes:

1. Constricción de las pupilas para limitar la cantidad de luz que entra en los ojos; ayuda a la focalización de los objetos cercanos.
2. Secreción de las glándulas digestivas, incluyendo las glándulas salivales, las glándulas gástricas, duodenales y otras glándulas intestinales, el páncreas y el hígado.
3. Secreción de hormonas que promueven la absorción de nutrientes por las células periféricas.
4. Incremento de la actividad del músculo liso en el aparato digestivo.
5. Estimulación y coordinación de la defecación.
6. Contracción de la vejiga urinaria durante la micción.
7. Constricción de las vías respiratorias.
8. Reducción de la frecuencia y la fuerza de contracción cardíaca.
9. Excitación sexual y estimulación de las glándulas sexuales en ambos sexos.

Estas funciones se centran en la relajación, el procesamiento de los alimentos y la absorción de energía. Los efectos de la división parasimpática conducen a un incremento general del contenido de nutrientes de la sangre. Las células del organismo responden a este incremento absorbiendo los nutrientes y utilizándolos para sostener el crecimiento y otras actividades anabólicas.

Activación parasimpática y liberación de neurotransmisores

Todas las fibras preganglionares y posganglionares de la división parasimpática liberan ACh en sus sinapsis y uniones neuroefectoras. Las uniones neuroefectoras son pequeñas, con hendiduras sinápticas estrechas. Los efectos de la estimulación son pasajeros porque la mayor parte de la ACh liberada es inactivada por la acetilcolinesterasa en la sinapsis. Toda la ACh que difunde a los tejidos circundantes se desactiva por la enzima *colinesterasa tisular*. Como consecuencia, los efectos de la estimulación parasimpática son bastante localizados y duran como máximo unos pocos segundos.

Receptores del plasmalema y respuestas

Aunque todas las sinapsis (neurona-neurona) y uniones neuroefectoras (neurona-efector) de la división parasimpática utilizan el mismo neurotransmisor, acetilcolina, en el plasmalema postsináptico se encuentran dos tipos diferentes de receptores de ACh:

1. Los **receptores nicotínicos** se encuentran en las superficies de todas las neuronas ganglionares de las divisiones parasimpática y simpática, así como en las sinapsis neuromusculares del SNS. La exposición a la ACh siempre causa una excitación de la neurona ganglionar o de la fibra muscular a través de la apertura de los canales iónicos del plasmalema.
2. Los **receptores muscarínicos** se encuentran en todas las uniones neuroefectoras colinérgicas de la división parasimpática, así como en las pocas uniones neuroefectoras colinérgicas de la división simpática. La estimulación de los receptores muscarínicos produce efectos a mayor largo plazo que la estimulación de los receptores nicotínicos. La respuesta, que refleja la activación o inactivación de enzimas específicas, puede ser excitatoria o bien inhibitoria.

Los nombres *nicotínico* y *muscarínico* indican los compuestos químicos que estimulan los lugares de estos receptores. Los receptores nicotínicos ligan la *nicotina*, un potente componente del humo del tabaco. Los receptores muscarínicos son estimulados por la *muscarina*, una toxina producida por algunos hongos venenosos.

Resumen de la división parasimpática

[v. tabla 17.1]

1. La división parasimpática incluye los núcleos motores viscerales del tronco del encéfalo asociados con cuatro nervios craneales (III, VII, IX y X). En los segmentos sacros S_2-S_4, los núcleos autónomos se sitúan en las porciones laterales de las astas anteriores.
2. Las neuronas ganglionares están situadas en los ganglios intramurales o en los ganglios estrechamente asociados a sus órganos diana.
3. La división parasimpática inerva estructuras de la cabeza y órganos de la cavidad torácica y abdominopélvica.
4. Todas las neuronas parasimpáticas son colinérgicas. La liberación de ACh por las neuronas preganglionares estimula los receptores nicotínicos de las neuronas ganglionares, y el efecto es siempre excitatorio. La liberación de ACh en las uniones neuroefectoras estimula los receptores muscarínicos, y los efectos pueden ser excitatorios o inhibitorios dependiendo de la naturaleza de las enzimas activadas cuando la ACh se une al receptor.
5. Los efectos de la estimulación parasimpática generalmente son breves y limitados a órganos y localizaciones específicos.

La tabla 17.1 resume las características de la división parasimpática del SNA.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Identifique el neurotransmisor liberado por las fibras preganglionares y por las fibras posganglionares en la división parasimpática del sistema nervioso autónomo.
2. ¿Cuáles son los dos receptores diferentes de ACh que se encuentran en el plasmalema postsináptico en la división parasimpática?
3. ¿Qué son los ganglios intramurales?
4. ¿Por qué la estimulación simpática tiene unos efectos tan extensos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Relaciones entre las divisiones simpática y parasimpática

La división simpática tiene un impacto extenso, alcanzando los órganos viscerales y los tejidos de todo el organismo. La división parasimpática modifica la actividad de las estructuras inervadas por nervios craneales y nervios pélvicos específicos. Esto incluye los órganos viscerales de la cavidad torácica y abdominopélvica. Aunque algunos de estos órganos están inervados sólo por una división autónoma, los órganos más vitales reciben una **inervación doble,** es decir reciben instrucciones tanto de la división simpática como de la parasimpática. Donde existe inervación doble, con frecuencia las dos divisiones tienen efectos opuestos o antagónicos. La inervación doble es más prominente en el aparato digestivo, el corazón y los pulmones. Por ejemplo, la estimulación simpática disminuye la motilidad del aparato digestivo, mientras que la estimulación parasimpática aumenta su motilidad.

Anatomía de la inervación doble [v. figura 17.9]

En la cabeza, las fibras posganglionares parasimpáticas del ganglio ciliar, pterigopalatino, submandibular y ótico acompañan a los nervios craneales hasta sus destinos periféricos. La inervación simpática alcanza las mismas estructuras viajando directamente desde los ganglios cervicales superiores de la cadena simpática.

En la cavidad torácica y abdominopélvica, las fibras posganglionares simpáticas se mezclan con las fibras preganglionares parasimpáticas en una serie de plexos (**v. figura 17.9**). Estos son el *plexo cardíaco*, el *plexo pulmonar*, el *plexo*

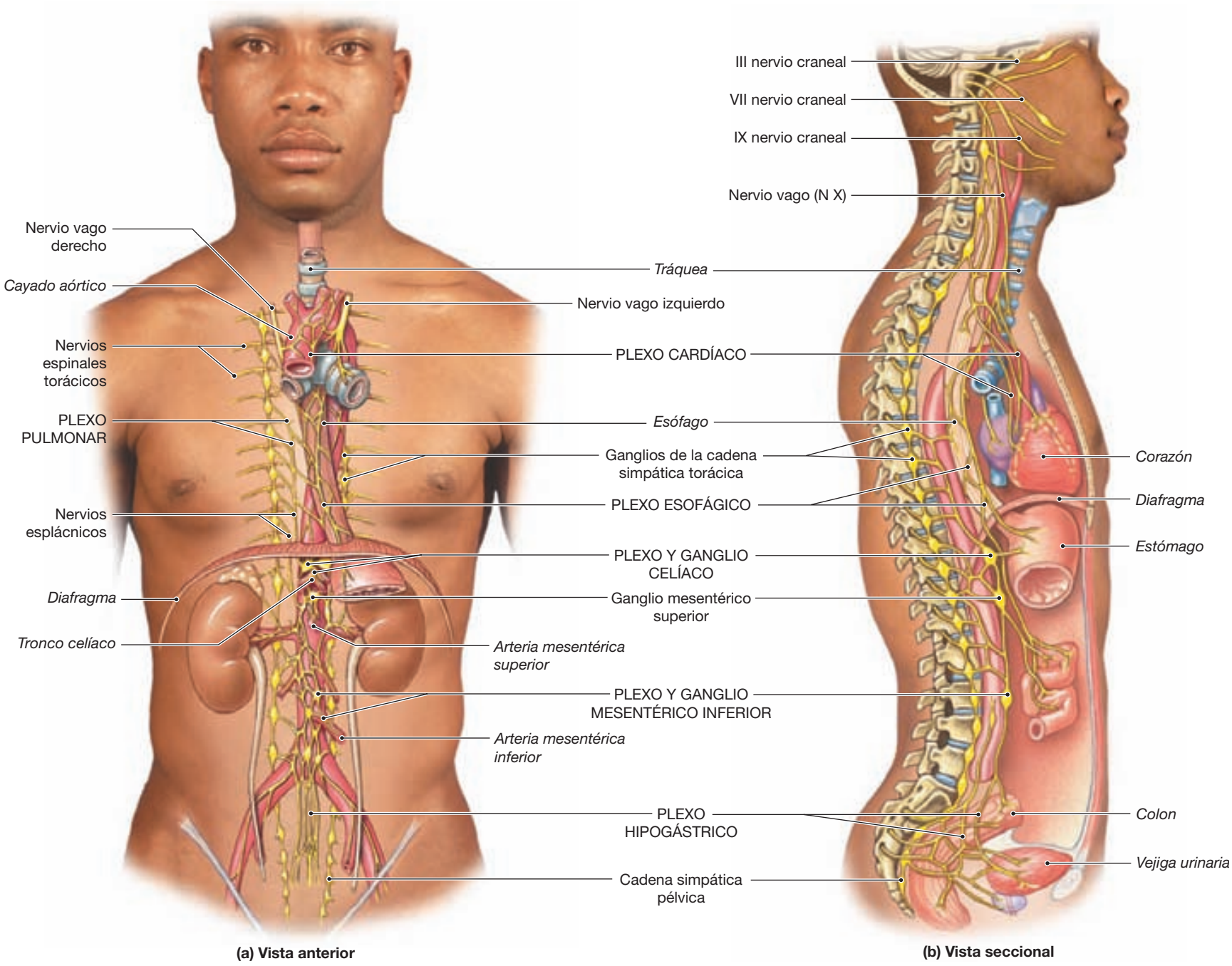


Figura 17.9 Los plexos autónomos periféricos

(a) Esta es una vista esquemática de la distribución de los plexos del SNA en la cavidad torácica (plexo cardíaco, esofágico y pulmonar) y en la cavidad abdominopélvica (plexo celíaco, mesentérico inferior e hipogástrico). **(b)** Vista seccional de los plexos autónomos.

esofágico, el *plexo celíaco*, el *plexo mesentérico inferior* y el *plexo hipogástrico*. Los nervios que salen de estos plexos viajan con los vasos sanguíneos y los linfáticos que van a los órganos viscerales.

Las fibras autónomas que entran en la cavidad torácica se cruzan en el **plexo cardíaco** y el **plexo pulmonar.** Estos plexos contienen fibras tanto simpáticas como parasimpáticas destinadas al corazón y los pulmones, respectivamente, así como los ganglios parasimpáticos cuyas eferencias influyen en esos órganos. El **plexo esofágico** contiene ramas descendentes del nervio vago y nervios esplácnicos que salen de la cadena simpática a cada lado.

Las fibras preganglionares parasimpáticas del nervio vago entran en la cavidad abdominopélvica con el esófago. Se unen a la red del **plexo celíaco,** también llamado *plexo solar*. El plexo celíaco y un plexo asociado más pequeño, el **plexo mesentérico inferior,** inervan las vísceras hasta los segmentos iniciales del intestino grueso. El **plexo hipogástrico** contiene las eferencias parasimpáticas de los nervios pélvicos, fibras posganglionares simpáticas del ganglio mesentérico inferior y los nervios esplácnicos sacros de la cadena simpática. El plexo hipogástrico inerva los órganos digestivos, urinarios y reproductores de la cavidad pélvica.

Comparación de las divisiones simpática y parasimpática

La figura 17.10 y la tabla 17.1 comparan las características clave de las divisiones simpática y parasimpática del SNA.

Integración y control de las funciones autónomas

El SNA, al igual que el sistema nervioso somático (SNS), está organizado en una serie de niveles de interacción. En el primer nivel se encuentran las neuronas motoras viscerales que participan en los *reflejos viscerales* cerebrales y medulares. Los cuerpos celulares de estas neuronas motoras se localizan en la médula espinal y la parte baja del tronco del encéfalo.

Reflejos viscerales [v. figura 17.11 y tabla 17.2]

Los **reflejos viscerales** (v. figura 17.11) son las unidades funcionales más sencillas del sistema nervioso autónomo. Proporcionan respuestas motoras automáticas que pueden ser modificadas, facilitadas o inhibidas por los centros superiores, especialmente los del hipotálamo. Todos los reflejos viscerales son polisinápticos [p. 382]. Cada arco reflejo visceral (v. figura 17.11) consta de un receptor, un nervio sensitivo, un centro de procesamiento (interneurona o neurona motora) y dos neuronas motoras viscerales (preganglionar y ganglionar). Los nervios sensitivos envían la información al SNC a lo largo de los nervios espinales, los nervios craneales y los nervios

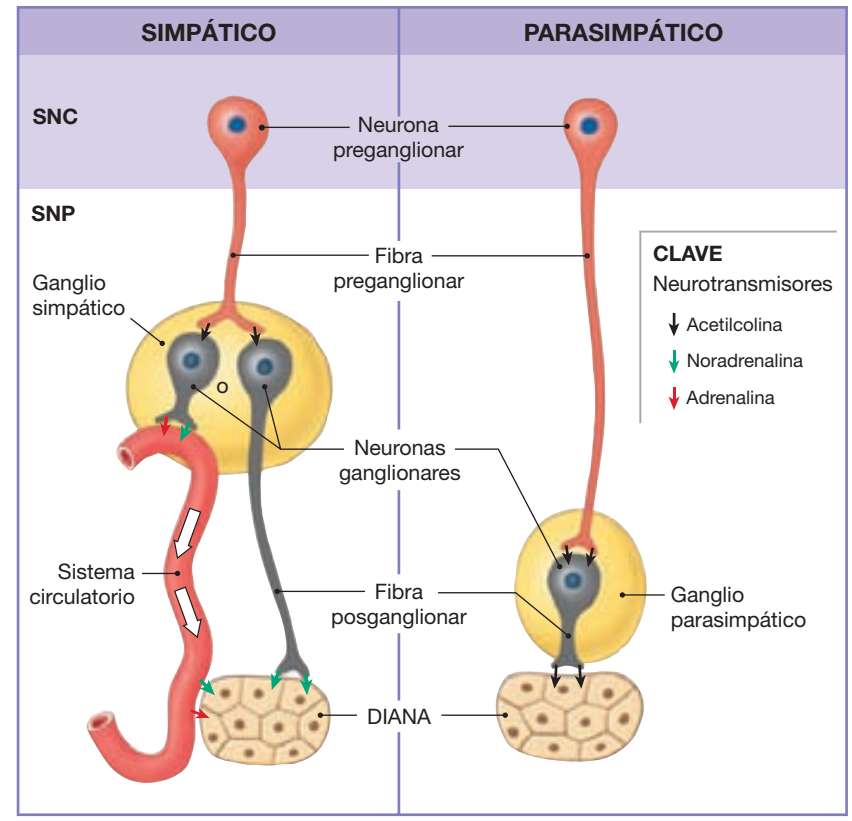


Figura 17.10 Comparación de las divisiones simpática y parasimpática
Este diagrama compara la longitud de la fibra (preganglionar y posganglionar), la localización general de los ganglios y el neurotransmisor principal liberado en cada división del sistema nervioso autónomo.

TABLA 17.1 Comparación de las divisiones simpática y parasimpática del SNA

Característica	División simpática	División parasimpática
Localización de las neuronas motoras viscerales en el SNC	Astas laterales de los segmentos medulares T_1-L_2	Tronco del encéfalo y segmentos medulares S_2-S_4
Localización de los ganglios en el SNP	Cadena simpática paravertebral; ganglios colaterales (celíaco, mesentérico superior y mesentérico inferior) localizados anterior y lateralmente a la aorta descendente	Intramurales o terminales
Fibras preganglionares:		
Longitud	Relativamente cortas, mielinizadas	Relativamente largas, mielinizadas
Neurotransmisor liberado	Acetilcolina	Acetilcolina
Fibras posganglionares:		
Longitud	Relativamente largas, no mielinizadas	Relativamente cortas, no mielinizadas
Neurotransmisor liberado	Generalmente noradrenalina	Siempre acetilcolina
Unión neuroefectora	Varicosidades y botones terminales aumentados de tamaño que liberan el transmisor cerca de las células diana	Uniones neuroefectoras que liberan el transmisor en la superficie de un receptor especial
Grado de divergencia desde el SNC hasta las células ganglionares	Aproximadamente 1:32	Aproximadamente 1:6
Funciones generales	Estimula el metabolismo, incrementa el estado de alerta, prepara para la respuesta de «lucha o huida» de urgencia	Promueve la relajación, la asimilación de nutrientes, el almacenamiento de energía («descanso y reposo»)

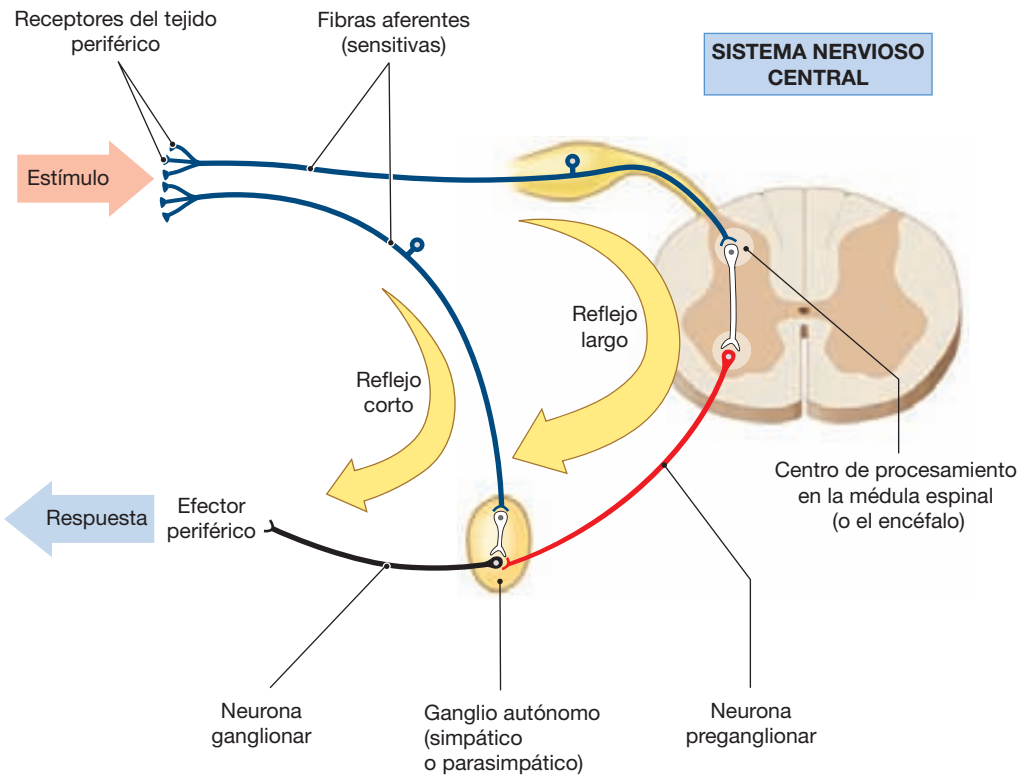


Figura 17.11 Reflejos viscerales
Los reflejos viscerales tienen los mismos componentes básicos que los reflejos somáticos, pero todos los reflejos viscerales son polisinápticos.

autónomos que inervan los efectores periféricos. Por ejemplo, iluminar el ojo con una luz desencadena un reflejo visceral (el *reflejo consensual a la luz*) que contrae las pupilas de ambos ojos [p. 382]. En la oscuridad total, las pupilas se dilatan. Los núcleos motores que dirigen la constricción o dilatación pupilar también están controlados por los centros hipotalámicos relacionados con los estados emocionales. Por ejemplo, cuando estás mareado o nauseoso, tus pupilas se contraen; cuando estás sexualmente excitado, tus pupilas se dilatan.

Los reflejos viscerales pueden ser *reflejos largos* o *reflejos cortos*. Los **reflejos largos** son los equivalentes autónomos de los reflejos polisinápticos comentados en el capítulo 13 [p. 382]. Las neuronas sensitivas viscerales transmiten la información al SNC a lo largo de las raíces dorsales de los nervios espinales, con las ramas sensitivas de los nervios craneales y con los nervios autónomos que inervan los efectores viscerales. Los pasos de procesamiento incluyen interneuronas en el SNC, y las neuronas motoras implicadas están localizadas en el tronco del encéfalo o la médula espinal. El SNA lleva las órdenes motoras a los efectores viscerales apropiados después de hacer sinapsis en un ganglio autónomo periférico.

Los **reflejos cortos** evitan completamente el SNC; implican neuronas sensitivas e interneuronas cuyos cuerpos celulares están localizados en los ganglios autónomos. Las interneuronas hacen sinapsis con las neuronas ganglionares, y después las órdenes motoras se distribuyen por las fibras posganglionares. Los reflejos cortos controlan respuestas motoras muy sencillas con efectos localizados. En general, los reflejos cortos pueden controlar patrones de actividad en una pequeña parte de un órgano diana, mientras que los reflejos largos coordinan las actividades de todo el órgano.

En la mayoría de los órganos, los reflejos largos son más importantes para regular las actividades viscerales, pero este no es el caso en el aparato digestivo y sus glándulas asociadas. Los ganglios de las paredes del aparato digestivo contienen los cuerpos celulares de neuronas sensitivas viscerales, interneuronas y neuronas motoras viscerales. Aunque la inervación parasimpática de las neuronas motoras viscerales puede estimular y coordinar diferentes actividades digestivas, el sistema digestivo es bastante capaz de controlar sus propias funciones independientemente del sistema nervioso central. Por esta razón se ha denominado *sistema nervioso entérico (SNE);* consideraremos sus funciones posteriormente en el capítulo 25.

A medida que examinemos otros sistemas corporales, trataremos muchos ejemplos de reflejos autónomos implicados en la respiración, la función cardiovascular y otras actividades viscerales. La tabla 17.2 resume la información relacionada con los reflejos viscerales importantes. Obsérvese que la división parasimpática participa en reflejos que influyen en órganos y sistemas individuales, reflejando el patrón relativamente específico y restringido de inervación. En cambio, existen menos reflejos simpáticos. Esta división típicamente se activa como un todo, en parte debido al grado de divergencia y en parte debido a que la liberación de hormonas por las médulas suprarrenales también produce efectos periféricos extensos.

Niveles superiores de control autónomo [v. figura 17.12]

Los niveles de actividad de las divisiones simpática y parasimpática están controlados por centros del tronco del encéfalo relacionados con funciones viscerales específicas. La **figura 17.12** esquematiza los niveles de control autónomo. Al igual que en el SNS, los reflejos simples centrados en la médula espinal proporcionan respuestas relativamente rápidas y automáticas a los estímulos. Los reflejos simpáticos y parasimpáticos más complejos están coordinados por los centros de procesamiento del bulbo raquídeo. Además de los centros cardiovasculares, el bulbo raquídeo contiene los centros y núcleos implicados en la respiración, las secreciones digestivas, la peristalsis y la función urinaria. Estos centros bulbares a su vez están sujetos a regulación por el hipotálamo. En general, los centros del hipotálamo posterior y lateral están relacionados con la coordinación y regulación de la función simpática, y las porciones del hipotálamo anterior y medial controlan la división parasimpática [p. 406].

El término *autónomo* se aplicó originalmente al sistema motor visceral porque se pensaba que los centros reguladores funcionaban sin tener relación con otras actividades del SNC. Esta idea se ha revisado drásticamente a la luz de las investigaciones posteriores. Ahora sabemos que el hipotálamo

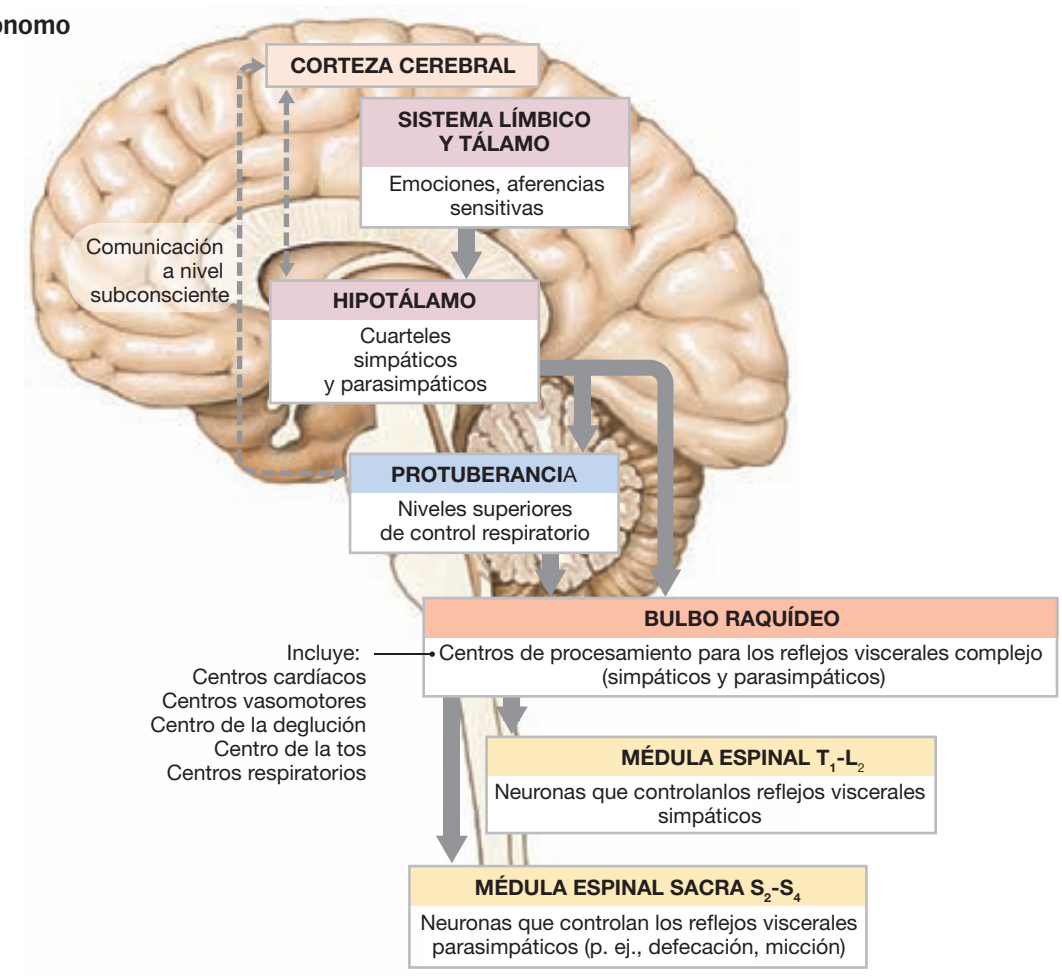
Nota clínica

Neuropatía diabética y SNA En la enfermedad *diabetes mellitus*, los niveles de glucosa sanguínea están elevados ya que la mayoría de las células son incapaces de absorber y utilizar la glucosa como fuente de energía. Deriva una variedad de problemas fisiológicos; estos se comentarán más adelante en el capítulo 19. Las personas con casos crónicos, no tratados o con un mal control de la diabetes mellitus a menudo desarrollan problemas del nervio periférico. La disfunción de los nervios periféricos, un trastorno conocido como *neuropatía diabética*, tiene efectos extensos. Diferiremos la consideración de los específicos hasta el capítulo 19, excepto señalar que la neuropatía diabética tiene múltiples efectos sobre el SNA. En particular, interfiere con los reflejos viscerales normales (v. tabla 17.2). Con frecuencia los síntomas incluyen un retraso del vaciamiento gástrico; reducción del control simpático del sistema cardiovascular, conduciendo a una baja frecuencia cardíaca y presión arterial con la bipedestación; dificultad para la micción; e impotencia.

TABLA 17.2 Reflejos viscerales representativos

Reflejo	Estímulo	Respuesta	Comentarios
REFLEJOS PARASIMPÁTICOS			
Reflejos gástricos e intestinales *(v. capítulo 25)*	Presión y contacto físico con los materiales alimentarios	Contracciones del músculo liso que impulsan los materiales alimentarios y mezclan el alimento con las secreciones	Mediados por el nervio vago (N X)
Defecación *(v. capítulo 25)*	Distensión del recto	Relajación del esfínter anal interno	Requiere una relajación voluntaria del esfínter anal externo
Micción *(v. capítulo 26)*	Distensión de la vejiga urinaria	Contracción de las paredes de la vejiga urinaria, relajación del esfínter uretral interno	Requiere una relajación voluntaria del esfínter uretral externo
Reflejo directo a la luz y consensual a la luz *(v. capítulo 18)*	Luz brillante iluminando el ojo (u ojos)	Constricción de las pupilas de ambos ojos	
Reflejo de deglución *(v. capítulo 25)*	Movimiento del alimento y el líquido por la parte superior de la faringe	Contracciones del músculo liso y del músculo estriado	Coordinado por el centro de la deglución del bulbo raquídeo
Reflejo del vómito *(v. capítulo 25)*	Irritación de la mucosa del aparato digestivo	Inversión de la acción normal del músculo liso para expulsar el contenido	Coordinado por el centro del vómito del bulbo raquídeo
Reflejo de la tos *(v. capítulo 24)*	Irritación de la mucosa del aparato respiratorio	Expulsión súbita y explosiva del aire	Coordinado por el centro de la tos del bulbo raquídeo
Reflejo barorreceptor *(v. capítulo 21)*	Elevación súbita de la presión arterial en la arteria carótida	Reducción de la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción	Coordinado en el centro cardíaco del bulbo raquídeo
Excitación sexual *(v. capítulo 27)*	Estímulos eróticos (visuales o táctiles)	Incremento de las secreciones glandulares, la sensibilidad	
REFLEJOS SIMPÁTICOS			
Reflejo cardioacelerador *(v. capítulo 21)*	Disminución súbita de la presión arterial en la arteria carótida	Incremento de la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción	Coordinado en el centro cardíaco del bulbo raquídeo
Reflejos vasomotores *(v. capítulo 22)*	Cambios de la presión arterial en las arterias principales	Cambios en el diámetro de los vasos sanguíneos periféricos	Coordinado en el centro vasomotor del bulbo raquídeo
Reflejo pupilar *(v. capítulo 18)*	Bajo nivel de luz que alcanza los receptores visuales	Dilatación de la pupila	
Eyaculación (en varones) *(v. capítulo 27)*	Estímulos eróticos (táctiles)	Contracción de las glándulas seminales y la próstata y contracciones del músculo estriado que expulsa el semen	La eyaculación implica la contracción de los músculos bulboesponjosos

Figura 17.12 Niveles de control autónomo



interacciona con todas las demás porciones del encéfalo, y que la actividad del sistema límbico (memoria, estados emocionales), el tálamo (información sensitiva) o la corteza cerebral (procesos de pensamiento consciente) puede tener efectos espectaculares sobre la función autónoma. Las interconexiones entre el sistema límbico y el hipotálamo suponen una conexión directa entre los estados emocionales y la actividad hipotalámica. Por ejemplo, cuando una persona se enoja, su frecuencia cardíaca se acelera y su presión arterial aumenta.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué se quiere decir con inervación dual?
2. ¿Qué son los reflejos viscerales?
3. Nombre tres plexos de la cavidad abdominopélvica.

Véase «Respuestas» al final del libro.

TÉRMINOS CLÍNICOS

enfermedad de Raynaud: Trastorno de causa desconocida que deriva de una excesiva vasoconstricción simpática periférica en respuesta al estímulo del frío.

neuropatía diabética: Trastorno neurológico degenerativo que puede desarrollarse en personas con diabetes mellitus.

síndrome de Horner: Trastorno caracterizado por una pérdida unilateral de la inervación simpática de la cara.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 452

1. El **sistema nervioso autónomo (SNA)** regula la temperatura corporal y coordina la función cardiovascular, respiratoria, digestiva, excretora y reproductora. Los ajustes fisiológicos rutinarios de los sistemas son realizados por el sistema nervioso autónomo actuando a nivel subconsciente.

Comparación del sistema nervioso somático y autónomo 452

1. El sistema nervioso autónomo, como el sistema nervioso somático, tiene neuronas aferentes y eferentes. Sin embargo, en el SNA las vías aferentes se originan en receptores viscerales, y las vías eferentes conectan con los órganos efectores viscerales.
2. Además de la diferencia en la localización del receptor y el órgano efector, el SNA difiere del SNS en la disposición de las neuronas que conectan el sistema nervioso central con los órganos efectores. Las neuronas motoras viscerales del SNC, denominadas **neuronas preganglionares,** envían axones (*fibras preganglionares*) que hacen sinapsis con **neuronas ganglionares,** o *posganglionares*, cuyos cuerpos celulares están localizados en ganglios autónomos fuera del SNC. El axón de la neurona ganglionar es una **fibra posganglionar** que inerva los órganos periféricos *(v. figura 17.1)*.

Subdivisiones del SNA 452

3. En el SNA existen dos subdivisiones principales: la *división simpática* y la *división parasimpática (v. figura 17.1)*.
4. Los eferentes viscerales de los segmentos torácicos y lumbares forman la **división toracolumbar (simpática)** (sistema de «lucha o huida») del SNA. Generalmente, estimula el metabolismo tisular, incrementa el estado de alerta y prepara el organismo para actuar en situaciones de emergencia. Los eferentes viscerales que salen del tronco del encéfalo y de los segmentos sacros forman la **división craneosacra** (**parasimpática**) (sistema de «descanso y reposo»). Generalmente, conserva la energía y promueve las actividades sedentarias *(v. figura 17.1)*.
5. Ambas divisiones influyen sobre los órganos diana a través de neurotransmisores. Los receptores del plasmalema determinan si la respuesta será estimulante o inhibitoria. Generalmente, los efectos del neurotransmisor son como sigue: 1) todas las terminaciones preganglionares liberan **acetilcolina (ACh)** y son excitatorias; 2) todas las terminaciones parasimpáticas posganglionares liberan ACh y los efectos pueden ser excitatorios o inhibitorios, y 3) la mayoría de las terminaciones simpáticas posganglionares liberan **noradrenalina (NA)** y los efectos son generalmente excitatorios.

División simpática 453

1. La **división simpática** consta de neuronas preganglionares entre los segmentos T_1 y L_2 de la médula espinal; neuronas ganglionares en ganglios cerca de la columna vertebral, y neuronas especializadas en la glándula suprarrenal *(v. figuras 17.1a a 17.4/17.10)*.
2. Existen dos tipos de ganglios simpáticos: **ganglios de la cadena simpática** *(ganglios paravertebrales* o *ganglios laterales)* y **ganglios colaterales** *(ganglios prevertebrales)*.

Ganglios de la cadena simpática 454

3. Entre los segmentos medulares T_1 y L_2 cada raíz ventral da un *ramo blanco* con fibras preganglionares para un **ganglio de la cadena simpática.** Estas fibras preganglionares tienden a presentar una extensa divergencia antes de hacer sinapsis con la neurona ganglionar. La sinapsis tiene lugar en los ganglios de la cadena simpática, en uno de los ganglios colaterales o en la médula suprarrenal. Las fibras preganglionares transcurren entre los ganglios de la cadena simpática y los interconectan. Las fibras posganglionares que se dirigen hacia los efectores viscerales de la pared corporal entran en el *ramo gris* para volver al nervio espinal para su distribución, mientras que los destinados a las estructuras de la cavidad torácica forman nervios autónomos que van directamente a sus destinos viscerales *(v. figuras 17.1a,b/17.3)*.
4. En cada cadena simpática existen tres ganglios cervicales, 11-12 torácicos, 2-5 lumbares y 4-5 sacros, y un ganglio simpático coccígeo. *Cada nervio espinal tiene un ramo gris que lleva las fibras posganglionares simpáticas*. En resumen: 1) sólo los ganglios torácicos y lumbares superiores reciben fibras preganglionares por medio de los ramos blancos; 2) los ganglios cervicales, lumbares inferiores y sacros de la cadena reciben inervación preganglionar a partir de fibras colaterales de las neuronas simpáticas, y 3) cada nervio espinal recibe un ramo gris de un ganglio de la cadena simpática *(v. figura 17.4)*.

Ganglios colaterales 456

5. Las vísceras abdominopélvicas reciben inervación simpática a través de las fibras preganglionares que atraviesan la cadena simpática para hacer sinapsis en los ganglios colaterales. Las fibras preganglionares que inervan los ganglios colaterales forman los **nervios esplácnicos** *(mayor*, *menor*, *lumbares*, y *sacros) (v. figuras 17.3b/17.4/17.9)*.
6. Los nervios esplácnicos inervan el plexo hipogástrico y tres ganglios colaterales: 1) el *ganglio celíaco*; 2) el *ganglio mesentérico superior,* y 3) el *ganglio mesentérico inferior (v. figuras 17.4/17.9)*.
7. El **ganglio celíaco** inerva el estómago, el hígado, el páncreas y el bazo; el **ganglio mesentérico superior** inerva el intestino delgado y los segmentos iniciales del intestino grueso, y el **ganglio mesentérico inferior** inerva el riñón, la vejiga, los órganos sexuales y las porciones terminales del intestino grueso *(v. figuras 17.3b/17.4/17.9)*.

Médulas suprarrenales 458

8. Algunas fibras preganglionares no hacen sinapsis cuando atraviesan la cadena simpática y los ganglios colaterales. En su lugar, entran en una de las glándulas suprarrenales y sinaptan con neuronas modificadas de la **médula suprarrenal.**

Estas células liberan *noradrenalina (NA)* y *adrenalina (A)* a la circulación, causando un efecto prolongado de inervación simpática *(v. figuras 17.3c/17.4/17.5)*.

Efectos de la estimulación simpática 458

9. En una crisis responde toda la división, fenómeno denominado **activación simpática.** Sus efectos incluyen incremento del estado de alerta, sensación de energía y euforia, incremento de la actividad cardiovascular y respiratoria, elevación general del tono muscular y movilización de las reservas de energía.

Activación simpática y liberación de neurotransmisores 458

10. La estimulación de la división simpática tiene dos resultados diferenciados: la liberación de noradrenalina (o en algunos casos acetilcolina) en las uniones neuroefectoras y la secreción de adrenalina y noradrenalina a la circulación general *(v. figura 17.6)*.

Receptores del plasmalema y función simpática 459

11. Existen dos clases de receptores simpáticos que son estimulados por la noradrenalina y por la adrenalina: **receptores alfa** (que responden a la estimulación despolarizando el plasmalema) y **receptores beta** (que responden a la estimulación cambiando la actividad metabólica de las células).
12. La mayor parte de las fibras posganglionares liberan noradrenalina (adrenérgicas), pero unas pocas liberan acetilcolina (colinérgicas). Las fibras posganglionares que inervan las glándulas sudoríparas de la piel y los vasos sanguíneos de los músculos estriados liberan ACh.

Resumen de la división simpática 459

13. La división simpática tiene las siguientes características: 1) dos cadenas simpáticas dispuestas segmentariamente laterales a la columna vertebral, tres ganglios colaterales anteriores a la columna vertebral, y dos médulas suprarrenales; 2) las fibras preganglionares son relativamente cortas, excepto las de la médula suprarrenal, cuyas fibras posganglionares son bastante largas; 3) típicamente se produce una extensa divergencia, y una única fibra preganglionar hace sinapsis con muchas neuronas ganglionares en diferentes ganglios; 4) todas las fibras preganglionares liberan ACh, mientras que la mayor parte de fibras posganglionares liberan NA, y 5) la respuesta del efector depende de la naturaleza y la actividad del receptor *(v. tabla 17.1)*.

División parasimpática 460

1. La división parasimpática consta de: 1) neuronas preganglionares en el tronco del encéfalo y en los segmentos sacros de la médula espinal, y 2) neuronas ganglionares en los ganglios periféricos localizados en los órganos diana o inmediatamente próximos a ellos *(v. figuras 17.7/17.8 y tabla 17.1)*.

Organización y anatomía de la división parasimpática 460

2. Las fibras preganglionares salen del encéfalo con los nervios craneales III (oculomotor), VII (facial), IX (glosofaríngeo) y X (vago) *(v. figuras 17.7/17.8)*.
3. Las fibras parasimpáticas de los nervios oculomotor, facial y glosofaríngeo ayudan a controlar las estructuras viscerales de la cabeza y hacen sinapsis en los **ganglios ciliar, pterigopalatino, submandibular** y **ótico.** Las fibras del nervio vago proporcionan inervación parasimpática preganglionar a los ganglios intramurales de las estructuras de la cavidad torácica y abdominopélvica *(v. figuras 17.7/17.8)*.
4. Las fibras preganglionares que salen de los segmentos sacros forman los **nervios pélvicos** que inervan los ganglios intramurales del riñón, la vejiga, las partes finales del intestino grueso y los órganos sexuales *(v. figura 17.8)*.

Funciones generales de la división parasimpática 462

5. Los efectos producidos por la división parasimpática incluyen: 1) constricción pupilar; 2) secreción glandular digestiva; 3) secreción hormonal para la absorción de los nutrientes; 4) incremento de actividad del aparato digestivo; 5) actividades de defecación; 6) actividades miccionales; 7) constricción de la vía respiratoria; 8) reducción de la frecuencia cardíaca, y 9) excitación sexual. Estas funciones generales se centran en la relajación, el procesamiento del alimento y la absorción de energía.

Activación parasimpática y liberación de neurotransmisores 462

6. Todas las fibras preganglionares y posganglionares parasimpáticas liberan ACh en las sinapsis y uniones neuroefectoras. Los efectos son pasajeros debido a la acción de las enzimas del plasmalema postsináptico y en los tejidos circundantes.
7. En los plasmalemas postsinápticos se encuentran dos tipos diferentes de receptores de ACh. Los **receptores nicotínicos** se localizan en las células ganglionares de ambas divisiones del SNA y en las sinapsis neuromusculares. La exposición a la ACh causa excitación mediante la apertura de los canales del plasmalema. Los **receptores muscarínicos** se localizan en las uniones neuroefectoras de la división parasimpática y en las uniones neuroefectoras colinérgicas de la división simpática. La estimulación de los receptores muscarínicos produce un efecto de mayor duración que la estimulación de los receptores nicotínicos.

Resumen de la división parasimpática 462

8. La división parasimpática tiene las siguientes características: 1) incluye núcleos motores viscerales asociados con los nervios craneales III, VII, IX y X y con los segmentos sacros S_2-S_4; 2) las neuronas ganglionares se localizan en los ganglios terminales o intramurales cerca o en el interior de los órganos diana, respectivamente; 3) inerva las áreas que suplen los nervios craneales y los órganos de la cavidad torácica y abdominopélvica; 4) todas las neuronas parasimpáticas son colinérgicas. Las neuronas posganglionares también son colinérgicas y se subdividen adicionalmente según que sus receptores sean muscarínicos o nicotínicos, y 5) los efectos generalmente son breves y limitados a localizaciones específicas *(v. figura 17.10 y tabla 17.1)*.

Relaciones entre las divisiones simpática y parasimpática 463

1. La división simpática tiene una influencia extensa, alcanzando las estructuras viscerales y somáticas de todo el cuerpo *(v. figura 17.4 y tabla 17.1)*.
2. La división parasimpática inerva sólo las estructuras viscerales que suplen los nervios craneales o que están situadas en la cavidad torácica y abdominopélvica. Los órganos con **inervación doble** reciben instrucciones de ambas divisiones *(v. figura 17.10 y tabla 17.1)*.

Anatomía de la inervación doble 463

3. En las cavidades corporales los nervios parasimpáticos y simpáticos se entremezclan para formar una serie de plexos nerviosos (redes nerviosas) característicos que incluyen el **plexo cardíaco, pulmonar, esofágico, celíaco, mesentérico inferior** e **hipogástrico** *(v. figura 17.9)*.

Comparación de las divisiones simpática y parasimpática 464

4. Revisar la *figura 17.10* y la *tabla 17.1*

Integración y control de las funciones autónomas 464

Reflejos viscerales 464

1. Los **reflejos viscerales** son las funciones más simples del SNA. Proporcionan respuestas motoras automáticas que pueden ser modificadas, facilitadas o inhibidas por los centros superiores, especialmente en el hipotálamo *(v. figura 17.11 y tabla 17.2)*.

Niveles superiores de control autónomo 465

2. En general, los centros encefálicos superiores del hipotálamo posterior y lateral están relacionados con la coordinación y regulación de la función simpática, y porciones del hipotálamo anterior y medial controlan la división parasimpática *(v. figura 17.12)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de hechos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. preganglionar	a. todas las fibras preganglionares
___ 2. toracolumbar	b. fibras preganglionares para los ganglios colaterales
___ 3. parasimpático	c. primera neurona
___ 4. prevertebrales	d. ganglios colaterales
___ 5. paravertebrales	e. médula suprarrenal
___ 6. acetilcolina	f. activación simpática
___ 7. adrenalina	g. división simpática
___ 8. simpático	h. ganglios terminales
___ 9. esplácnico	i. cadena simpática
___10. crisis	j. fibra posganglionar larga

11. Las neuronas motoras viscerales del SNC:
    (a) son neuronas ganglionares
    (b) están en el ganglio de la raíz dorsal
    (c) tienen axones no mielinizados excepto en la región torácica inferior
    (d) envían axones que hacen sinapsis con las neuronas ganglionares localizadas periféricamente

12. Los nervios esplácnicos:
    (a) están formados por las fibras posganglionares parasimpáticas
    (b) incluyen fibras preganglionares que van a los ganglios colaterales
    (c) controlan la función simpática de las estructuras de la cabeza
    (d) conectan un ganglio de la cadena con otro

13. ¿Cuál de los siguientes ganglios pertenece a la división simpática del SNA?
    (a) ganglio ótico (b) ganglio esfenopalatino
    (c) ganglios paravertebrales (d) todos los anteriores son correctos

14. Las fibras preganglionares de la división simpática del SNA se originan en:
    (a) la corteza cerebral del encéfalo
    (b) el bulbo raquídeo
    (c) el tronco del encéfalo y la médula espinal sacra
    (d) la médula espinal toracolumbar

15. El neurotransmisor de todas las sinapsis y uniones neuroefectoras de la división parasimpática del SNA es:
    (a) adrenalina (b) AMP-cíclico
    (c) noradrenalina (d) acetilcolina

16. Las grandes células de la médula suprarrenal que se parecen a las neuronas de los ganglios simpáticos:
    (a) se localizan en la corteza suprarrenal
    (b) liberan acetilcolina a los capilares sanguíneos
    (c) liberan adrenalina y noradrenalina a los capilares sanguíneos
    (d) no tienen funciones endocrinas

17. Las fibras preganglionares simpáticas se caracterizan porque:
    (a) son cortas y no mielinizadas
    (b) son cortas y mielinizadas
    (c) son largas y mielinizadas
    (d) son largas y no mielinizadas

18. Todas las fibras autónomas preganglionares liberan _____ en sus terminaciones sinápticas, y los efectos son siempre_____.
    (a) noradrenalina, inhibitorios (b) noradrenalina, excitatorios
    (c) acetilcolina, excitatorios (d) acetilcolina, inhibitorios

19. Las fibras posganglionares de las neuronas autónomas generalmente:
    (a) son mielinizadas
    (b) son no mielinizadas
    (c) son más grandes que las fibras preganglionares
    (d) están localizadas en la médula espinal

20. El ramo comunicante blanco:
    (a) lleva las fibras posganglionares a los órganos efectores
    (b) se origina en la raíz dorsal de los nervios espinales
    (c) tiene fibras que no divergen
    (d) lleva las fibras preganglionares a un ganglio cercano de la cadena simpática

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Al seccionar la raíz ventral del nervio espinal en L_2 se interrumpiría la transmisión de ¿qué tipo de información?
    (a) eferencias motoras voluntarias (b) eferencias motoras del SNA
    (d) aferencias sensitivas (d) a y b son correctas

2. La lesión de las raíces ventrales de los cinco primeros nervios espinales torácicos del lado derecho del cuerpo interferiría con:
    (a) la capacidad para dilatar la pupila derecha
    (b) la capacidad para dilatar la pupila izquierda
    (c) la capacidad para contraer el músculo bíceps braquial derecho
    (d) la capacidad para contraer el músculo bíceps braquial izquierdo

3. ¿Qué mecanismo anatómico está implicado en causar que una persona se ruborice?
    (a) el flujo sanguíneo de la piel aumenta por la estimulación parasimpática
    (b) la estimulación simpática relaja las paredes de los vasos, incrementando el flujo sanguíneo a la piel
    (c) la estimulación parasimpática disminuye el tono muscular de la piel, permitiendo que la sangre se acumule en la superficie
    (d) la estimulación simpática incrementa la captación de oxígeno con la respiración, haciendo la sangre roja más brillante

4. Si la señal visceral desde el intestino delgado no alcanza la médula espinal, ¿qué estructuras podrían estar dañadas?
    (a) las neuronas preganglionares (b) los ramos comunicantes blancos
    (c) los ramos comunicantes grises (d) ninguno de los anteriores es correcto

5. Los efectos de la adrenalina y la noradrenalina liberadas por las glándulas suprarrenales duran más que los de los compuestos químicos liberados en las uniones neuroefectoras. ¿Por qué?

6. ¿Por qué los efectos de la estimulación parasimpática son más específicos y localizados que los de la división simpática?

7. ¿Cómo se regula la función de las glándulas sudoríparas por la actividad simpática?

8. ¿En qué difieren los ganglios de la cadena simpática de los ganglios colaterales y los ganglios intramurales?

9. Compare los efectos generales de las divisiones simpática y parasimpática del SNA.

10. Describa la organización general de la vía para las eferencias motoras viscerales.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En algunos casos graves, una persona que sufre úlceras de estómago puede necesitar cirugía para seccionar las ramas del nervio vago que inervan el estómago. ¿Cómo ayudaría esto al problema?

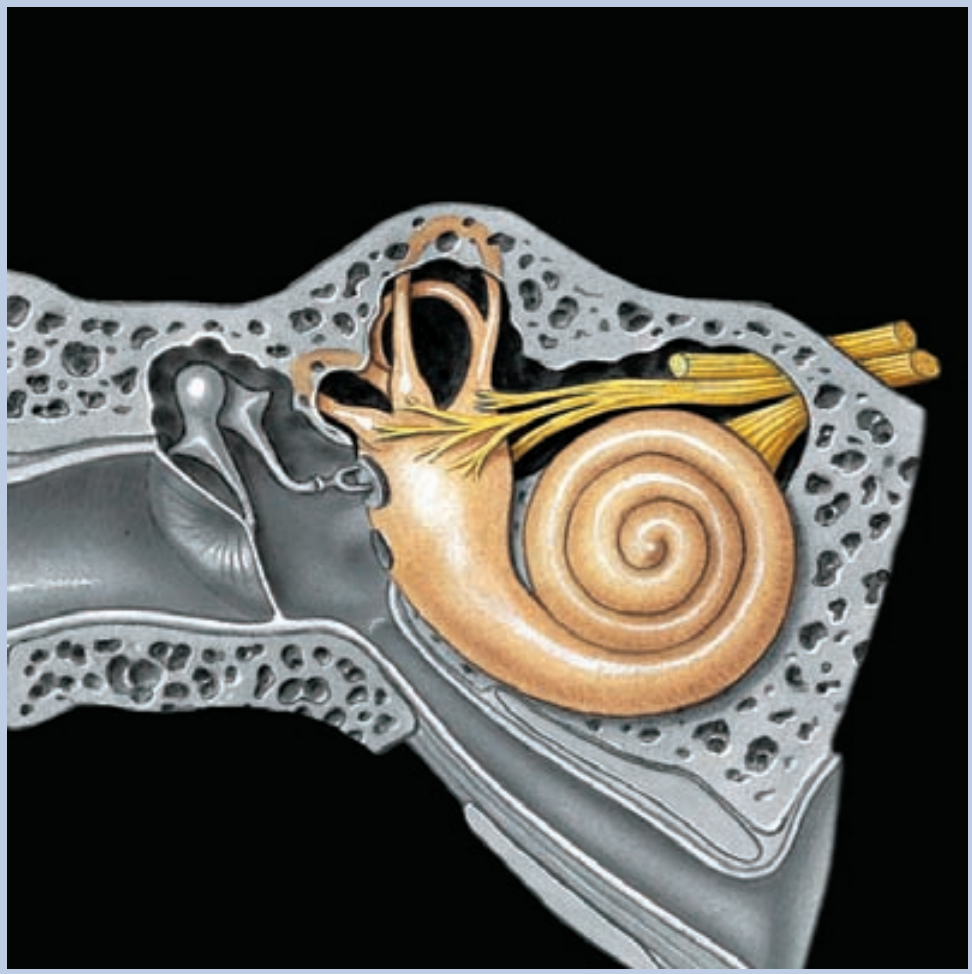
2. ¿Qué alteraciones de la función del SNA conducirían a un médico a diagnosticar el trastorno del síndrome de Horner?

3. Kassie sufre una picadura de avispa en el cuello. Es alérgica al veneno de avispa y su garganta comienza a hincharse y sus vías respiratorias a cerrarse. ¿Qué sería más útil para aliviar sus síntomas, la acetilcolina o la adrenalina? ¿Por qué?

18

Sistema nervioso

Sensibilidad general y sentidos especiales



Introducción 471

Receptores 471

Sensibilidad general 472

Capacidad olfativa (olfato) 477

Capacidad gustativa (gusto) 478

Equilibrio y audición 480

Visión 491

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Definir la sensibilidad y comentar el origen de las sensaciones.
2. Distinguir entre la sensibilidad general y los sentidos especiales.
3. Explicar por qué los receptores responden a estímulos específicos y cómo influye la estructura de un receptor en su sensibilidad.
4. Distinguir entre receptores fásicos y tónicos.
5. Identificar los receptores de la sensibilidad general y describir brevemente cómo funcionan.
6. Clasificar los receptores de acuerdo con el estímulo detectado, la localización corporal y la estructura histológica.
7. Identificar, describir y comentar los receptores y las vías nerviosas implicados en el sentido del olfato.
8. Identificar, describir y comentar los receptores y las vías nerviosas implicados en el sentido del gusto.
9. Identificar y describir las estructuras del oído y su función en el procesamiento de la sensación del equilibrio y describir el mecanismo por el cual mantenemos el equilibrio.
10. Identificar y describir las estructuras del oído que recogen, amplifican y conducen el sonido y las estructuras a lo largo de la vía auditiva.
11. Describir las vías por las que viaja al encéfalo la información auditiva y del equilibrio.
12. Identificar y describir las capas del ojo y las funciones de las estructuras de cada capa.
13. Explicar cómo enfoca la luz el ojo.
14. Identificar las estructuras de la vía visual.

Cada plasmalema (membrana plasmática) funciona como un receptor para la célula, porque responde a los cambios en el entorno extracelular. Los plasmalemas difieren en su sensibilidad a los estímulos eléctricos, químicos y mecánicos específicos. Por ejemplo, una hormona que estimula una neurona puede no tener efecto sobre un osteocito, porque el plasmalema de las neuronas y de los osteocitos contiene diferentes proteínas receptoras. Un **receptor sensitivo** es una célula o prolongación celular especializada que controla las condiciones del organismo o del entorno externo. La estimulación del receptor altera directa o indirectamente la producción de potenciales de acción en una neurona sensitiva [p. 351].

La información sensitiva que llega al SNC se denomina **sensación;** la **percepción** es la idea consciente de una sensación. El término **sensibilidad general** se refiere a las sensaciones de temperatura, dolor, tacto, presión, vibración y propiocepción (posición corporal). Los receptores sensitivos generales están distribuidos por todo el cuerpo. Estas sensaciones llegan a la corteza sensitiva primaria, o *corteza somatosensitiva,* a través de las vías descritas anteriormente [p. 432].

Los **sentidos especiales** son el olfato *(capacidad olfatoria),* el gusto *(capacidad gustativa),* el equilibrio, la audición y la visión. Las sensaciones proporcionadas por células receptoras especializadas que son más complejas estructuralmente que las de la sensibilidad general. Estos receptores se localizan en **órganos de los sentidos** complejos, como el ojo o el oído. La información es proporcionada a centros situados en todo el encéfalo.

Los receptores sensitivos representan la interconexión entre el sistema nervioso y el entorno interno y externo. El sistema nervioso se basa en datos sensitivos precisos para controlar y coordinar respuestas relativamente rápidas a estímulos específicos. Este capítulo comienza resumiendo la función de los receptores y los conceptos básicos del procesamiento sensitivo. Después aplicaremos esta información a la sensibilidad general y a los sentidos especiales y comentaremos su estructura.

Receptores [v. figura 18.1]

Cada receptor tiene una sensibilidad característica. Por ejemplo, un receptor táctil es muy sensible a la presión, pero relativamente insensible a los estímulos químicos. Este concepto se denomina **especificidad del receptor.** La especificidad deriva de la estructura de la propia célula receptora o de la presencia de células o estructuras accesorias que la protegen de otros estímulos.

Los receptores más sencillos son las dendritas de las neuronas sensitivas, llamadas **terminaciones nerviosas libres.** Pueden ser estimuladas por muchos estímulos diferentes. Por ejemplo, las terminaciones nerviosas libres que proporcionan la sensibilidad dolorosa pueden responder a la estimulación química, a la presión, a los cambios de temperatura o a la lesión física. En cambio, las células receptoras del ojo están rodeadas por células accesorias que normalmente evitan su estimulación por otra cosa que no sea la luz.

El área controlada por una única célula receptora es el **campo receptivo** (v. figura 18.1). Siempre que un estímulo suficientemente fuerte llega al campo receptivo, el SNC recibe la información. Cuanto mayor sea el campo receptivo, peor es nuestra capacidad para localizar un estímulo. Por ejemplo, un receptor táctil de la superficie corporal general puede tener un campo receptivo de 7 cm de diámetro. Como consecuencia, un tacto ligero sólo puede describirse de forma general afectando un área de aproximadamente ese tamaño. En la lengua, donde los campos receptivos son menores de un milímetro de diámetro, podemos ser muy precisos en relación con la localización de un estímulo.

Un estímulo que llega a un receptor puede adoptar muchas formas diferentes: puede ser una fuerza física, como un presión; una sustancia química disuelta; un sonido; o un rayo de luz. Independientemente de la naturaleza del estímulo, sin embargo, la información sensitiva debe ser enviada al SNC en forma de potenciales de acción, que son fenómenos eléctricos. La información que llega es procesada e interpretada por el SNC a nivel consciente y subconsciente.

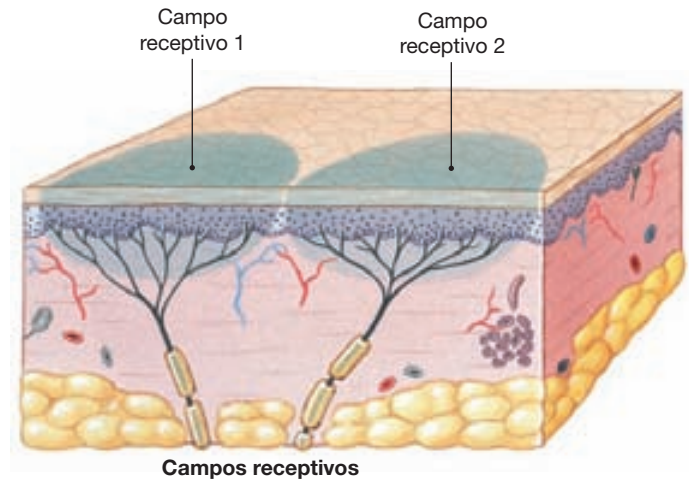


Figura 18.1 Receptores y campos receptivos
Cada receptor controla un área específica conocida como el campo receptivo.

Interpretación de la información sensitiva

Cuando la información sensitiva llega al SNC, se canaliza en función de la localización y la naturaleza del estímulo. A lo largo de las vías sensitivas comentadas en el capítulo 16, los axones transmiten la información desde el punto A (el receptor) hasta el punto B (una neurona en un lugar específico de la corteza cerebral). La conexión entre el receptor y la neurona cortical se llama una **vía marcada.** Cada vía marcada lleva información relacionada con una sensibilidad específica (tacto, presión, visión, y así sucesivamente) desde los receptores de una parte específica del cuerpo. La identidad de la vía marcada activa indica la localización y la naturaleza del estímulo. *Todas las demás características del estímulo se transmiten por el patrón de los potenciales de acción en las fibras aferentes.* Esta **codificación sensitiva** proporciona información acerca de la fuerza, duración, variación y desplazamiento del estímulo.

Algunas neuronas sensitivas, los llamados **receptores tónicos,** están siempre activas. Los fotorreceptores del ojo y distintos receptores que controlan la posición corporal son ejemplos de receptores tónicos. Otros receptores normalmente están inactivos, pero se activan durante un corto tiempo siempre que existe un cambio en las condiciones que están controlando. Estos son los **receptores fásicos** y proporcionan información sobre la intensidad y la frecuencia de cambio de un estímulo. Muchos receptores del tacto y la presión de la piel son ejemplos de receptores fásicos. Los receptores que combinan una codificación fásica y tónica transportan una información sensitiva extremadamente complicada; los receptores que controlan las posiciones y movimientos de las articulaciones están en este grupo.

Procesamiento central y adaptación

La **adaptación** es una reducción de la sensibilidad en presencia de un estímulo constante. La **adaptación periférica (sensitiva)** se produce cuando los receptores o neuronas sensitivas alteran sus niveles de actividad. El receptor responde intensamente al principio, pero después la actividad a lo largo de la fibra aferente disminuye gradualmente, en parte debido a la fatiga sináptica. Esta respuesta es característica de los receptores fásicos, que también se denominan **receptores de adaptación rápida.** Los receptores tónicos muestran poca adaptación periférica y también se llaman **receptores de adaptación lenta.**

La adaptación también tiene lugar en el interior del SNC a lo largo de las vías sensitivas. Por ejemplo, unos pocos segundos después de la exposición a un nuevo olor, la percepción consciente del estímulo virtualmente desaparece, aunque las neuronas sensitivas aún están bastante activas. Este proceso se conoce como **adaptación central.** La adaptación central generalmente incluye la inhibición de núcleos a lo largo de una vía sensitiva. A nivel subconsciente,

la adaptación central limita adicionalmente la cantidad de detalles que llegan a la corteza cerebral. La mayor parte de la información sensitiva entrante es procesada en centros a lo largo de la médula espinal o el tronco del encéfalo, desencadenando potencialmente reflejos involuntarios. Aproximadamente sólo el 1% de la información proporcionada por las fibras aferentes alcanza la corteza cerebral y nuestra percepción consciente.

Limitaciones sensitivas

Nuestros receptores sensitivos nos proporcionan una idea detallada constante de nuestro cuerpo y nuestro entorno. Esta imagen, sin embargo, es incompleta por varias razones:

1. El ser humano no tiene receptores para todos los posibles estímulos.
2. Nuestros receptores tienen unos límites restringidos de sensibilidad.
3. Un estímulo debe ser interpretado por el SNC. Nuestra percepción de un estímulo particular es una interpretación y no siempre una realidad.

Este comentario ha presentado los conceptos básicos de la función de los receptores y del procesamiento sensitivo. Ahora podemos describir y comentar los receptores responsables de la sensibilidad general.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipos diferentes de estímulos pueden activar las terminaciones nerviosas libres?
2. Compare los receptores tónicos y fásicos.
3. ¿Qué es una sensación?
4. ¿Qué sensaciones se agrupan bajo el título de «sensibilidad general»?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Sensibilidad general

Los receptores de la sensibilidad general están diseminados por todo el organismo y tienen una estructura relativamente simple. Un esquema sencillo de clasificación los divide en *exterorreceptores*, *propiorreceptores* e *interorreceptores*. Los **exterorreceptores** proporcionan información acerca del entorno externo, los **propiorreceptores** controlan la posición corporal, y los **interorreceptores** controlan las condiciones en el interior del organismo.

Un sistema de clasificación más detallado divide los receptores sensitivos generales en cuatro tipos de acuerdo con la naturaleza del estímulo que los excita:

1. Los **nocirreceptores** (*noceo*, dañar) responden a una variedad de estímulos generalmente asociados con daño tisular. La activación del receptor causa la sensación de dolor.
2. Los **termorreceptores** responden a los cambios de temperatura.
3. Los **mecanorreceptores** son estimulados o inhibidos por distorsión física, contacto o presión sobre sus plasmalemas.
4. Los **quimiorreceptores** controlan la composición química de los líquidos corporales y responden a la presencia de moléculas específicas.

Cada clase de receptores tiene características estructurales y funcionales diferentes. Encontrará que algunos receptores táctiles y mecanorreceptores se identifican por epónimos (nombres conmemorativos). Los anatomistas contemporáneos han propuesto alternativas discrepantes para estos nombres, y aún no existen estandarización ni consenso. Es más significativo que *ninguno* de los nombres alternativos ha sido aceptado ampliamente en la literatura principal (profesional, técnica, ni en revistas o comunicaciones médicas). Para evitar una confusión posterior, este capítulo utilizará los epónimos siempre que no se acepte generalmente o se use ampliamente el alternativo.

Nocirreceptores [v. figuras 18.2/18.3a]

Los nocirreceptores, o receptores del dolor, son especialmente frecuentes en las porciones superficiales de la piel (**v. figura 18.3a**), en las cápsulas articulares, en el periostio de los huesos y alrededor de las paredes de los vasos sanguíneos. Existen pocos nocirreceptores en otros tejidos profundos o en la mayoría de los órganos viscerales. Los receptores del dolor son terminaciones nerviosas libres con grandes campos receptivos. Como consecuencia, a menudo es difícil determinar el origen exacto de una sensación dolorosa.

Existen tres tipos de nocirreceptores: 1) receptores sensibles a las temperaturas extremas; 2) receptores sensibles a la lesión mecánica, y 3) receptores sensibles a sustancias químicas disueltas, como las liberadas por las células lesionadas. Sin embargo, los estímulos térmicos, de presión o químicos muy intensos excitarán los tres tipos de receptores.

La sensación de **dolor rápido,** o *dolor punzante*, está producida por cortes profundos o lesiones similares. Estas sensaciones alcanzan el SNC muy rápidamente, donde desencadenan frecuentemente reflejos somáticos. También se transmiten a la corteza sensitiva primaria y así reciben atención consciente. La sensación dolorosa cesa sólo después de que ha finalizado el daño tisular. Sin embargo, la adaptación central puede reducir la *percepción* del dolor mientras los receptores del dolor aún son estimulados.

La **sensación de dolor lento,** o *dolor urente y sordo*, deriva de los mismos tipos de lesiones que la sensación de dolor rápido. Sin embargo, la sensación de dolor lento comienza más tarde y persiste más tiempo que la sensación de dolor rápido. Por ejemplo, un corte en la mano produciría una sensación inmediata de dolor rápido, seguida algo más tarde de dolor lento. La sensación de dolor

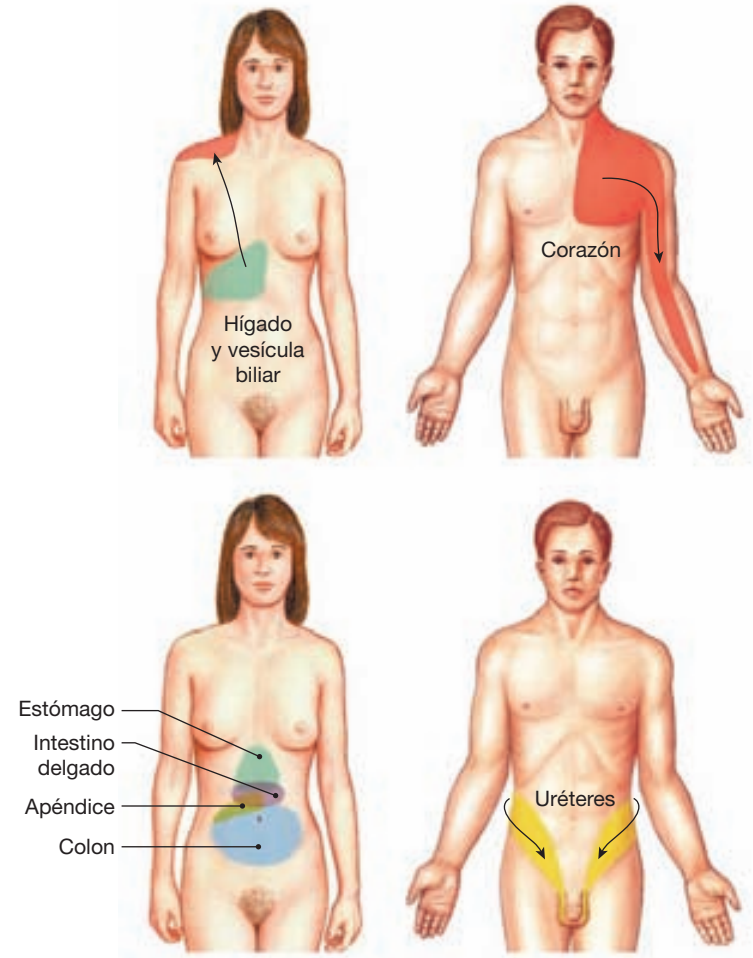


Figura 18.2 Dolor referido
La sensibilidad dolorosa que se origina en los órganos viscerales a menudo se percibe como si afectara a regiones específicas de la superficie corporal inervada por los mismos nervios espinales.

lento provoca una activación generalizada de la formación reticular y el tálamo. El individuo posee consciencia del dolor pero únicamente tiene una idea general del área afectada. Una persona que experimenta sensación de dolor lento a menudo se palpará el área en un intento de localizar el origen del dolor.

La sensibilidad dolorosa de los órganos viscerales se transmite por los nervios sensitivos que alcanzan la médula espinal con las raíces dorsales de los nervios espinales. Esta sensibilidad dolorosa visceral a menudo se percibe como si se originara en las regiones más superficiales que están inervadas por estos mismos nervios espinales. El mecanismo preciso responsable de este **dolor referido** sigue sin determinarse, pero en la **figura 18.2** se muestran varios ejemplos clínicos. El dolor cardíaco, por ejemplo, con frecuencia se percibe como si se originara en la parte superior del tórax y el brazo izquierdo.

Termorreceptores

Los receptores de temperatura se encuentran en la dermis de la piel, en los músculos estriados, en el hígado y en el hipotálamo. Los receptores para el frío son tres o cuatro veces más numerosos que los receptores para el calor. Los receptores son terminaciones nerviosas libres, y no existen diferencias estructurales conocidas entre los termorreceptores para el frío y para el calor.

La sensibilidad térmica se conduce a lo largo de las mismas vías que llevan la sensibilidad dolorosa. Se envía a la formación reticular, el tálamo y (en menor extensión) a la corteza sensitiva primaria. Los termorreceptores son receptores fásicos. Están muy activos cuando cambia la temperatura, pero se adaptan rápidamente a una temperatura estable. Cuando se entra en un aula con aire acondicionado un día caluroso de verano o en una biblioteca cálida una tarde fresca de otoño, la temperatura parece desagradable al principio, pero la incomodidad va desapareciendo a medida que se produce la adaptación.

Mecanorreceptores

Los mecanorreceptores son sensibles a los estímulos que estiran, comprimen, retuercen o distorsionan sus plasmalemas. Existen tres clases de mecanorreceptores: 1) los *receptores táctiles* proporcionan la sensibilidad al tacto, la presión y la vibración; 2) los *barorreceptores* (*baro-*, presión) detectan los cambios de presión en las paredes de los vasos sanguíneos y en porciones del aparato digestivo, reproductor y urinario, y 3) los *propiorreceptores* controlan la posición de las articulaciones y los músculos y son los receptores sensitivos generales más complejos.

Receptores táctiles [v. figura 18.3/tabla 18.1]

Los receptores táctiles varían en complejidad estructural desde las simples terminaciones nerviosas libres hasta complejos sensitivos especializados con células accesorias y estructuras de sostén. Los **receptores para el tacto y la presión finos** proporcionan información detallada acerca de una fuente de estimulación, incluyendo su localización exacta, forma, tamaño, textura y movimiento. Estos receptores son extremadamente sensibles y tienen campos receptivos relativamente limitados. Los **receptores para el tacto** y la **presión groseros** proporcionan una escasa localización y poca información adicional acerca del estímulo.

La **figura 18.3** muestra seis tipos diferentes de receptores táctiles de la piel. Pueden subdividirse en dos grupos: *receptores no encapsulados* (terminaciones nerviosas libres, discos táctiles y plexos de la raíz del pelo) y *receptores encapsulados* (corpúsculo táctil, corpúsculo de Ruffini y corpúsculo laminado).

Receptores no encapsulados [v. figura 18.3a-c] Las *terminaciones nerviosas libres* son frecuentes en la capa papilar de la dermis (**v. figura 18.3a**). En las áreas sensitivas, las ramas dendríticas penetran en la epidermis y contactan con las *células de Merkel* del estrato germinativo [p. 91]. Cada célula de Merkel se comunica con una neurona sensitiva a través de una sinapsis vesicular que incluye una terminación nerviosa expandida conocida como **disco táctil** (también denominado *disco de Merkel*) (**v. figura 18.3b**). Las células de Merkel son sensibles al tacto fino y la presión. Son activas de forma tónica y extremadamente sensibles y tienen campos receptivos limitados. Las terminaciones nerviosas libres también se asocian a los folículos pilosos.

Nota clínica

Dolor agudo y crónico Las sensaciones dolorosas pueden deberse a una lesión tisular o a la irritación de un nervio sensitivo. El dolor puede originarse donde se percibe, ser referido desde otra localización o representar una señal falsa generada a lo largo de la vía sensitiva. El tratamiento difiere en cada caso y un diagnóstico exacto es un primer paso esencial.

El **dolor agudo** es el resultado de una lesión tisular; la causa es evidente y el tratamiento local de la lesión típicamente es eficaz para aliviar el dolor. La solución más eficaz es detener el daño, finalizar la estimulación y suprimir la sensibilidad dolorosa en el lugar de la lesión. La lesión tisular da lugar a un daño de las membranas celulares. Un ácido graso denominado ácido araquidónico escapa de las membranas lesionadas y estimula los nocirreceptores del área. Las sensaciones dolorosas se suprimen cuando se aplican tópicamente o se inyectan localmente anestésicos que inactivan los nocirreceptores en el área inmediata. También pueden administrarse fármacos analgésicos.

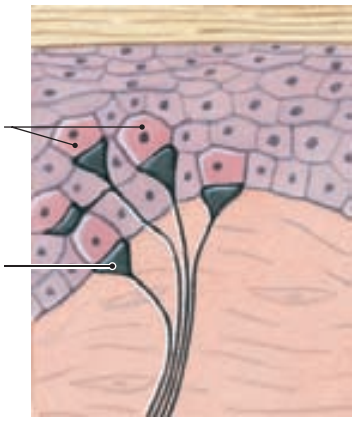
El **dolor crónico** es más difícil de clasificar y tratar. Incluye: 1) dolor relacionado con la lesión que persiste después de haberse reparado la estructura tisular; 2) dolor por una enfermedad crónica, y 3) dolor sin una causa aparente. También están implicados componentes psicológicos y fisiológicos complejos. El dolor crónico puede mejorar con medicamentos antidepresivos y anticonvulsivantes. El asesoramiento y el incremento del nivel de actividad física a menudo ayudan a la persona a centrar la atención en el exterior en lugar de en el interior. La focalización externa puede disminuir el nivel de dolor percibido y reducir la cantidad de medicación requerida para el dolor.

En algunos casos, el dolor crónico y el dolor agudo grave pueden suprimirse mediante la inhibición de la vía central del dolor. Los analgésicos relacionados con la morfina reducen el dolor imitando la acción de las endorfinas. La percepción del dolor puede estar alterada, aunque el dolor permanece. Por ejemplo, los pacientes con morfina refieren que son conscientes de las sensaciones dolorosas, pero no se angustian por ellas. Pueden tomarse medidas quirúrgicas para controlar el dolor grave. Por ejemplo: 1) puede destruirse la inervación sensitiva de un área mediante una corriente eléctrica; 2) pueden cortarse las raíces dorsales que llevan la sensibilidad dolorosa (una *rizotomía*); 3) pueden seccionarse los tractos ascendentes de la médula espinal (una *tractotomía*), o 4) pueden estimularse o destruirse los centros talámicos o límbicos. Estas opciones se usan sólo cuando han fallado otros métodos de control del dolor para proporcionar alivio.

Cuando se utiliza para controlar el dolor, la técnica china de la acupuntura implica la inserción de agujas finas en localizaciones específicas. El terapeuta no calienta ni gira estas agujas. Las teorías sugieren que el alivio del dolor puede seguir a la liberación de endorfinas. No se sabe cómo estimula la acupuntura la liberación de endorfina; los puntos de acupuntura no se corresponden con la distribución de ninguno de los principales nervios periféricos.

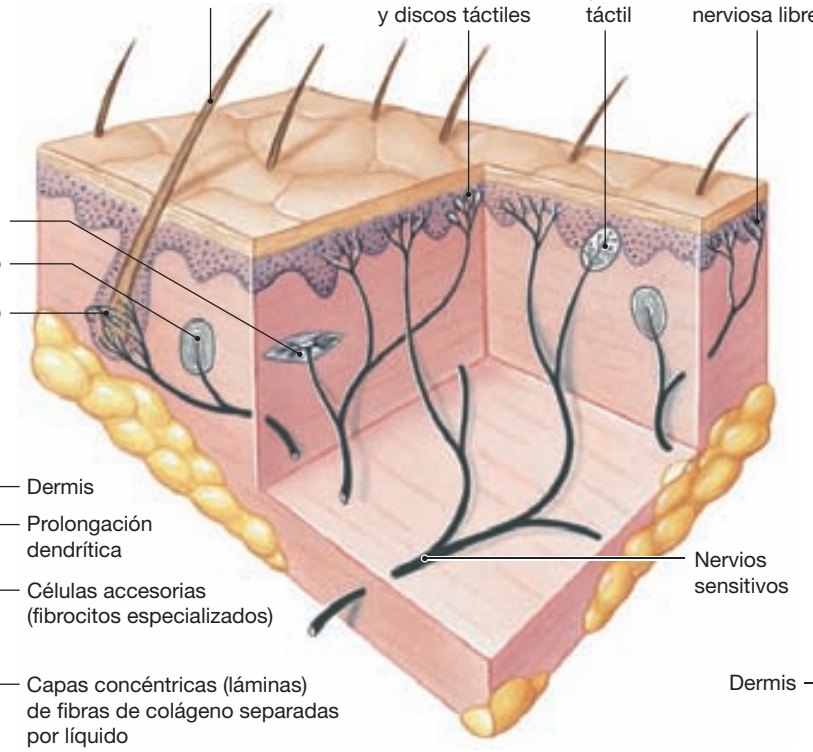
Muchos otros aspectos de la generación y el control del dolor siguen siendo un misterio. Hasta un 30% de los pacientes que reciben medicación no funcional experimentan una reducción posterior significativa del dolor. Se ha sugerido que este *efecto placebo* deriva de la liberación de endorfina desencadenada por la expectativa de alivio del dolor. Aunque la medicación no tiene un efecto directo, el efecto indirecto puede ser bastante significativo y complica la valoración de la medicación analgésica.

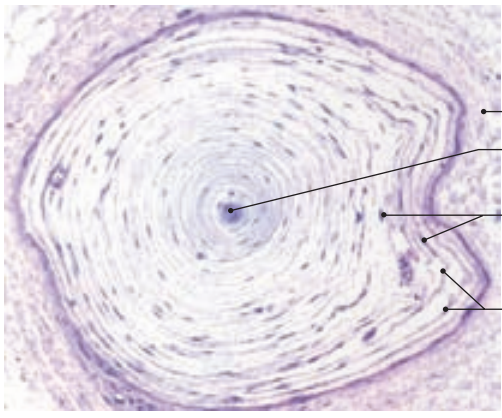
(a) Terminaciones nerviosas libres

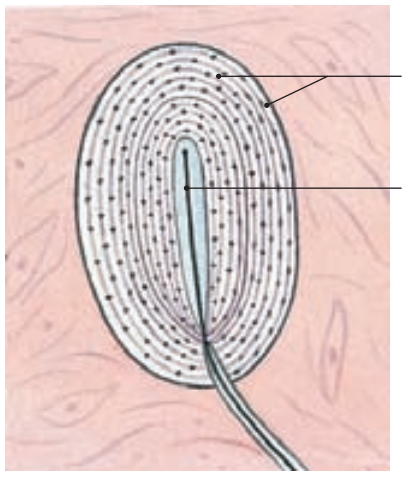


(b) Células de Merkel y discos táctiles

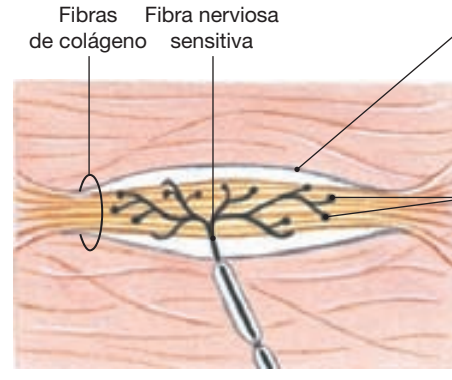
(c) Terminaciones nerviosas libres del plexo de la raíz del pelo



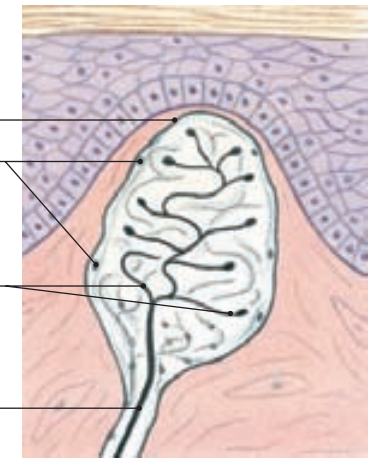

Dermis
Prolongación dendrítica
Células accesorias (fibrocitos especializados)
Capas concéntricas (láminas) de fibras de colágeno separadas por líquido



(f) Corpúsculo laminado



(e) Corpúsculo de Ruffini



(d) Corpúsculo táctil

Figura 18.3 Receptores táctiles de la piel

Localización y aspecto histológico general de seis receptores táctiles importantes. **(a)** Terminaciones nerviosas libres. **(b)** Células de Merkel y discos táctiles. **(c)** Terminaciones nerviosas libres del plexo de la raíz del pelo. **(d)** Corpúsculo táctil; el límite capsular en la microfotografía está indicado por una línea de puntos (MO × 550). **(e)** Corpúsculo de Ruffini **(f)** Corpúsculo laminado (MO × 125).

Las terminaciones nerviosas libres del **plexo de la raíz del pelo** controlan los movimientos y distorsiones a través de la superficie corporal (v. figura 18.3c). Cuando el pelo se desplaza, el movimiento del folículo distorsiona las dendritas sensitivas y produce potenciales de acción en la fibra aferente. Estos receptores se adaptan rápidamente, de manera que se convierten en las mejores herramientas para detectar el contacto inicial y los movimientos posteriores. Por ejemplo, la mayoría de las personas sienten la ropa sólo cuando se mueven o cuando centran la atención de manera consciente en las sensaciones táctiles de la piel.

TABLA 18.1 Receptores del tacto y la presión

Sensibilidad	Receptor	Responde a
Tacto fino	Terminación nerviosa libre	Contacto ligero con la piel
	Disco táctil	Como la anterior
	Plexo de la raíz del pelo	Contacto inicial con el tallo piloso
Presión y vibración	Corpúsculo táctil	Contacto inicial y vibraciones de baja frecuencia
	Corpúsculo laminado	Contacto inicial (profundo) y vibraciones de alta frecuencia
Presión profunda	Corpúsculo de Ruffini	Estiramiento y distorsión de la dermis

Receptores encapsulados [v. figura 18.3d-f y tabla 18.1]

Los **corpúsculos táctiles** grandes y ovalados (también denominados *corpúsculos de Meissner*) se encuentran donde la sensibilidad táctil está extremadamente bien desarrollada (v. figura 18.3d). Son especialmente frecuentes en los párpados, los labios, la punta de los dedos, los pezones y los genitales externos. Las dendritas están muy enrolladas y entremezcladas, y se encuentran rodeadas por células de Schwann modificadas. Una cápsula fibrosa rodea todo el complejo y lo ancla en la dermis. Los corpúsculos táctiles detectan el tacto ligero, el movimiento y la vibración; se adaptan a la estimulación un segundo después de que se produzca el contacto.

Los **corpúsculos de Ruffini,** localizados en la dermis, también son sensibles a la presión y la distorsión de la piel, pero son activos de forma tónica y muestran poca o ninguna adaptación. La cápsula rodea un núcleo de fibras de colágeno que se continúan con las de la dermis circundante. Las dendritas están entremezcladas en la cápsula con las fibras de colágeno (v. figura 18.3e). Cualquier tensión o distorsión de la dermis arrastra o retuerce las fibras de la cápsula, y este cambio estira o comprime las dendritas fijadas a ella y altera la actividad en la fibra aferente mielinizada.

Los **corpúsculos laminados** (también denominados *corpúsculos de Pacini*) son receptores encapsulados considerablemente más grandes (v. figura 18.3f). La prolongación dendrítica se sitúa en una serie de capas celulares concéntricas. Estas capas protegen la dendrita virtualmente de toda fuente de estimulación diferente de la presión directa. Aunque tanto los corpúsculos laminados, como los corpúsculos de Ruffini, responden a la presión, los corpúsculos laminados se adaptan rápidamente mientras que los de Ruffini se adaptan con bastante lentitud. Estos receptores están distribuidos por toda la dermis, principalmente en los dedos, las mamas y los genitales externos. También se encuentran en las fascias superficiales y profundas, en los periostios y las cápsulas articulares, en los mesenterios, en el páncreas y en las paredes de la uretra y la vejiga urinaria.

La tabla 18.1 resume las funciones y características de los seis receptores táctiles comentados. La distribución de la sensibilidad táctil dentro del SNC tiene lugar a través de la vía de la columna posterior y las vías espinotalámicas [p. 432]. La sensibilidad táctil puede estar alterada por infecciones periféricas, enfermedades y lesiones de las vías aferentes sensitivas o centrales, y existen pruebas clínicas importantes que valoran la sensibilidad táctil.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Cuando se estimulan los nocirreceptores de la mano, ¿qué sensación se percibe?
2. ¿Qué le ocurriría a un individuo si se bloqueara la información de los propiorreceptores de los miembros inferiores y no alcanzara el sistema nervioso central?
3. ¿Cuáles son las tres clases de mecanorreceptores?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Barorreceptores [v. figura 18.4]

Los **barorreceptores** son receptores de estiramiento que controlan los cambios en la presión. El receptor consta de terminaciones nerviosas libres que se ramifican en los tejidos elásticos de la pared de un órgano hueco, un vaso sanguíneo, o el aparato respiratorio, digestivo o urinario. Cuando se modifica la presión, las paredes elásticas de estos conductos u órganos se estiran o retraen. Estos cambios en la forma distorsionan las ramas dendríticas y alteran la frecuencia de generación del potencial de acción. Los barorreceptores responden inmediatamente a un cambio de presión.

Los barorreceptores controlan la presión arterial en las paredes de los vasos principales, incluyendo la arteria carótida (en el *seno carotídeo*) y la aorta (en el *seno aórtico*). La información proporcionada por estos barorreceptores tiene una función fundamental para regular la función cardíaca y ajustar el flujo sanguíneo hacia los tejidos vitales. Los barorreceptores de los pulmones controlan el grado de expansión pulmonar. Esta información se transmite al centro de ritmicidad respiratoria, que establece el ritmo de la respiración. Los barorreceptores del aparato urinario y digestivo desencadenan una serie de reflejos viscerales, como la micción. La figura 18.4 muestra ejemplos de las localizaciones y funciones de los barorreceptores.

Propiorreceptores

Los *propiorreceptores* controlan la posición de las articulaciones, la tensión en los tendones y ligamentos y el estado de la contracción muscular. Generalmente, los propiorreceptores no se adaptan a la estimulación constante. Los *husos musculares* son propiorreceptores que controlan la longitud de los músculos estriados [p. 249]. Los **órganos tendinosos de Golgi** controlan la tensión en los tendones durante la contracción muscular. Las cápsulas articulares tienen una rica inervación con terminaciones nerviosas libres que detectan la tensión, presión y movimiento en la articulación. El sentido de la posición corporal deriva de la integración de la información de estos propiorreceptores con la información del oído interno.

Quimiorreceptores [v. figura 18.5]

Los **quimiorreceptores** son neuronas especializadas que pueden detectar pequeños cambios en la concentración de sustancias químicas o compuestos específicos. En general, los quimiorreceptores responden sólo a las sustancias hidrosolubles y liposolubles que están disueltas en el líquido circundante.

Las localizaciones de los receptores quimiosensibles importantes se indican en la figura 18.5. Las neuronas de los centros respiratorios del encéfalo responden a la concentración de iones de hidrógeno (pH) y de dióxido de carbono (P_{CO_2}) en el líquido cefalorraquídeo. Las neuronas quimiorreceptores se encuentran en los **cuerpos carotídeos,** cerca del origen de las arterias carótidas internas a cada lado del cuello, y en los **cuerpos aórticos** entre las ramas principales del cayado aórtico. Estos receptores controlan la concentración de dióxido de carbono (P_{CO_2}) y oxígeno (P_{O_2}) de la sangre arterial. Las fibras aferentes originadas en los cuerpos carotídeos y aórticos alcanzan los centros respiratorios viajando con los nervios craneales noveno (glosofaríngeo) y décimo (vago). Estos quimiorreceptores tienen un papel importante en el control reflejo de la respiración y la función cardiovascular.

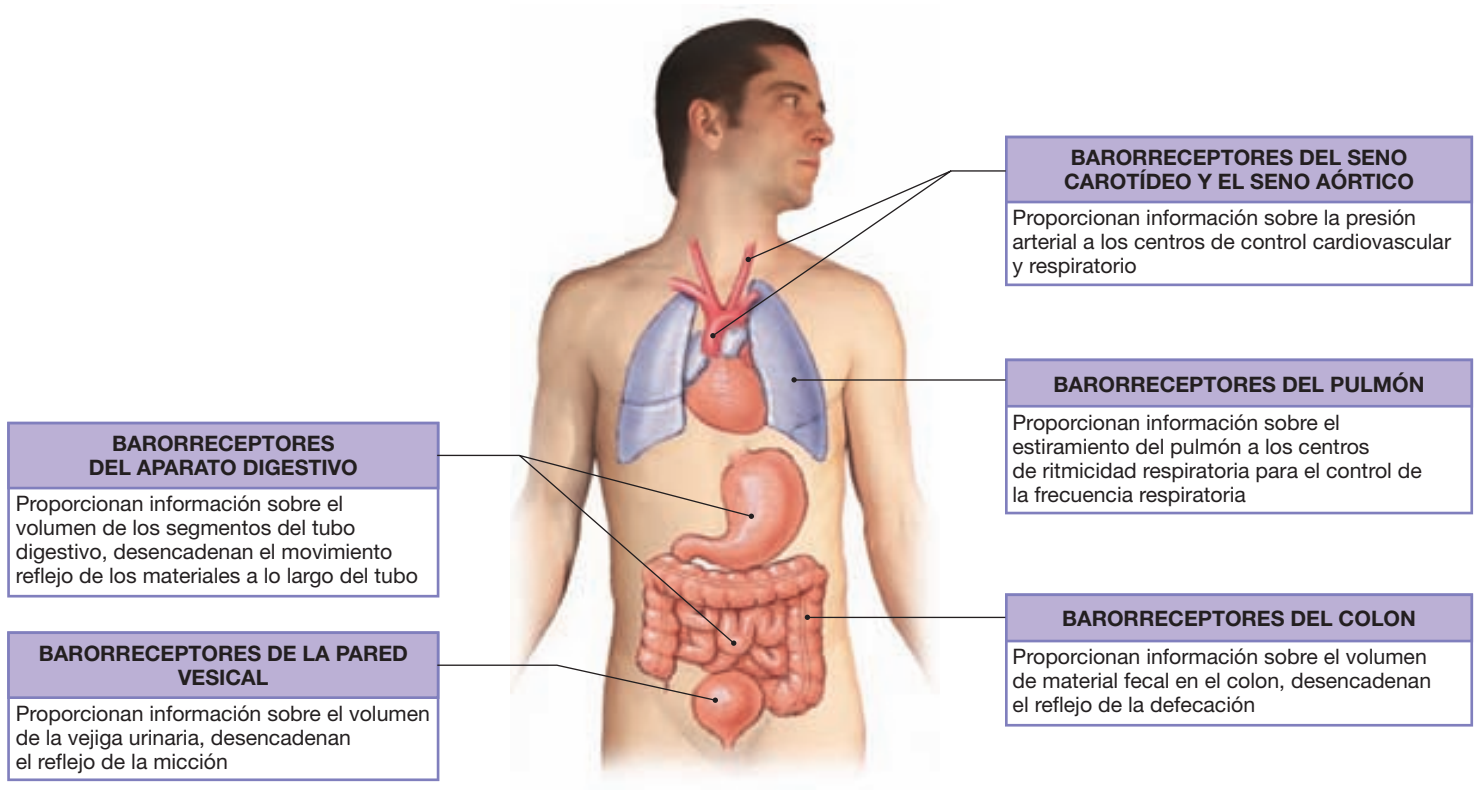

BARORRECEPTORES DEL SENO CAROTÍDEO Y EL SENO AÓRTICO
Proporcionan información sobre la presión arterial a los centros de control cardiovascular y respiratorio
BARORRECEPTORES DEL PULMÓN
Proporcionan información sobre el estiramiento del pulmón a los centros de ritmicidad respiratoria para el control de la frecuencia respiratoria
BARORRECEPTORES DEL COLON
Proporcionan información sobre el volumen de material fecal en el colon, desencadenan el reflejo de la defecación
BARORRECEPTORES DEL APARATO DIGESTIVO
Proporcionan información sobre el volumen de los segmentos del tubo digestivo, desencadenan el movimiento reflejo de los materiales a lo largo del tubo
BARORRECEPTORES DE LA PARED VESICAL
Proporcionan información sobre el volumen de la vejiga urinaria, desencadenan el reflejo de la micción

Figura 18.4 **Barorreceptores y regulación de las funciones autónomas**
Los barorreceptores proporcionan información esencial para la regulación de las actividades autónomas, incluyendo la respiración, la digestión, la micción y la defecación.

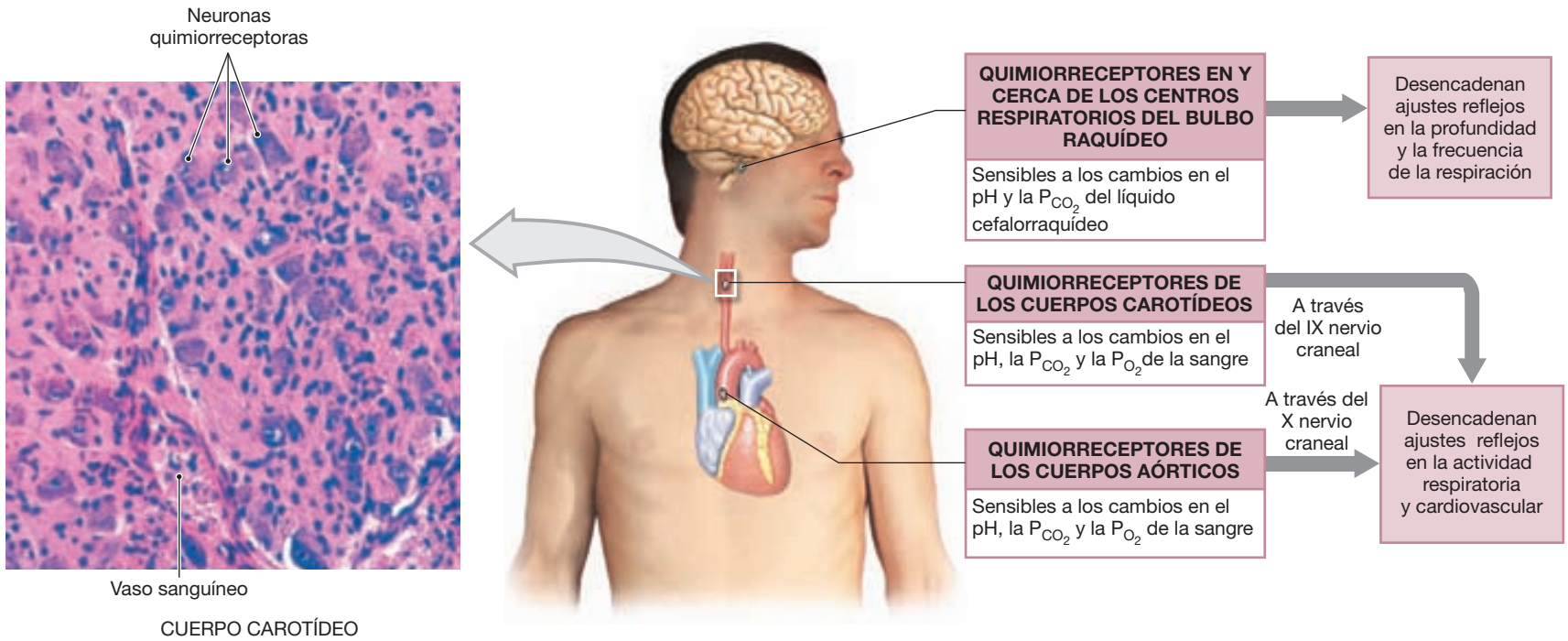

Neuronas quimiorreceptoras
Vaso sanguíneo
CUERPO CAROTÍDEO
QUIMIORRECEPTORES EN Y CERCA DE LOS CENTROS RESPIRATORIOS DEL BULBO RAQUÍDEO
Sensibles a los cambios en el pH y la P_{CO_2} del líquido cefalorraquídeo
Desencadenan ajustes reflejos en la profundidad y la frecuencia de la respiración
QUIMIORRECEPTORES DE LOS CUERPOS CAROTÍDEOS
Sensibles a los cambios en el pH, la P_{CO_2} y la P_{O_2} de la sangre
A través del IX nervio craneal
QUIMIORRECEPTORES DE LOS CUERPOS AÓRTICOS
Sensibles a los cambios en el pH, la P_{CO_2} y la P_{O_2} de la sangre
A través del X nervio craneal
Desencadenan ajustes reflejos en la actividad respiratoria y cardiovascular

Figura 18.5 **Quimiorreceptores**
Los quimiorreceptores se encuentran tanto en el interior del SNC, en las superficies ventrolaterales del bulbo raquídeo, como en los cuerpos aórticos y carotídeos. Estos receptores están implicados en la regulación autónoma de la función respiratoria y cardiovascular. La microfotografía muestra el aspecto histológico de las neuronas quimiorreceptoras del cuerpo carotídeo (MO $\times$ 1500).

Capacidad olfativa (olfato) [v. figura 18.6]

El sentido del olfato, denominado de forma más precisa **olfacción,** está proporcionado por los **órganos olfativos** pares. Estos órganos están localizados en la cavidad nasal a cada lado del tabique nasal. Los órganos olfativos (**v. figura 18.6**) constan de lo siguiente:

- Un neuroepitelio especializado, el **epitelio olfativo,** que contiene los **receptores olfativos** bipolares, **células de sostén** y **células basales** *(células madre)*.
- Una capa subyacente de tejido conjuntivo laxo conocida como *lámina propia*. Esta capa contiene: 1) **glándulas olfatorias,** también llamadas *glándulas de Bowman*, que producen un moco grueso, pigmentado; 2) vasos sanguíneos, y 3) nervios.

El epitelio olfativo cubre la superficie inferior de la lámina cribosa y las porciones superiores del tabique nasal y del cornete nasal superior del etmoides [p. 147]. Cuando el aire se desplaza a través de la nariz, los cornetes nasales producen un flujo de aire turbulento que pone en contacto los compuestos transportados por el aire con los órganos olfativos. Una inhalación normal aporta una pequeña muestra del aire inhalado (alrededor del 2%) a los órganos olfativos. Inhalar repetidamente incrementa el flujo de aire a través del epitelio olfativo, intensificando la estimulación de los receptores olfativos. Cuando los compuestos han alcanzado los órganos olfativos, los materiales hidrosolubles y liposolubles deben difundir al moco antes de poder estimular los receptores olfativos.

Receptores olfativos [v. figura 18.6b]

Las células receptoras olfativas son neuronas muy modificadas. La porción dendrítica apical de cada célula receptora forma un botón prominente que se proyecta más allá de la superficie epitelial hacia el interior de la cavidad nasal (**v. figura 18.6b**). Esa proyección proporciona la base para hasta 20 cilios que se extienden hacia el moco circundante, exponiendo su considerable superficie a los compuestos químicos disueltos. Más o menos entre 10 y 20 millones de células receptoras olfativas están incluidas en un área de aproximadamente 5 cm^2. La recepción del estímulo olfativo tiene lugar en la superficie de un cilio olfativo, a través de su unión a receptores de membrana específicos. Cuando la sustancia olorosa se une a su receptor, la membrana del receptor se despolariza. Esto puede desencadenar un potencial de acción en el axón del receptor olfativo.

Vías olfativas [v. figura 18.6]

El sistema olfativo es muy sensible. Tan sólo cuatro moléculas de una sustancia olorosa pueden activar un receptor olfativo. Sin embargo, la activación de una fibra aferente no garantiza una percepción consciente del estímulo. A lo largo de la vía olfativa tiene lugar una convergencia considerable, y la inhibición en las sinapsis intermedias puede evitar que las sensaciones alcancen la corteza cerebral.

Los axones que salen del epitelio olfativo se reúnen en 20 o más haces que penetran por la lámina cribosa del hueso etmoides para hacer sinapsis con las neuronas de los bulbos olfativos (**v. figura 18.6**). Esta acumulación de haces nerviosos constituye el primer nervio craneal (N I). Los axones de las neuronas de segundo orden del bulbo olfativo viajan en el tracto olfativo para alcanzar la corteza olfatoria, el hipotálamo y porciones del sistema límbico.

La sensibilidad olfativa es la única que alcanza la corteza cerebral sin hacer sinapsis primero en el tálamo. Las extensas conexiones límbicas e hipotalámicas ayudan a explicar las profundas respuestas emocionales y conductuales que pueden producirse por ciertos olores, como los perfumes.

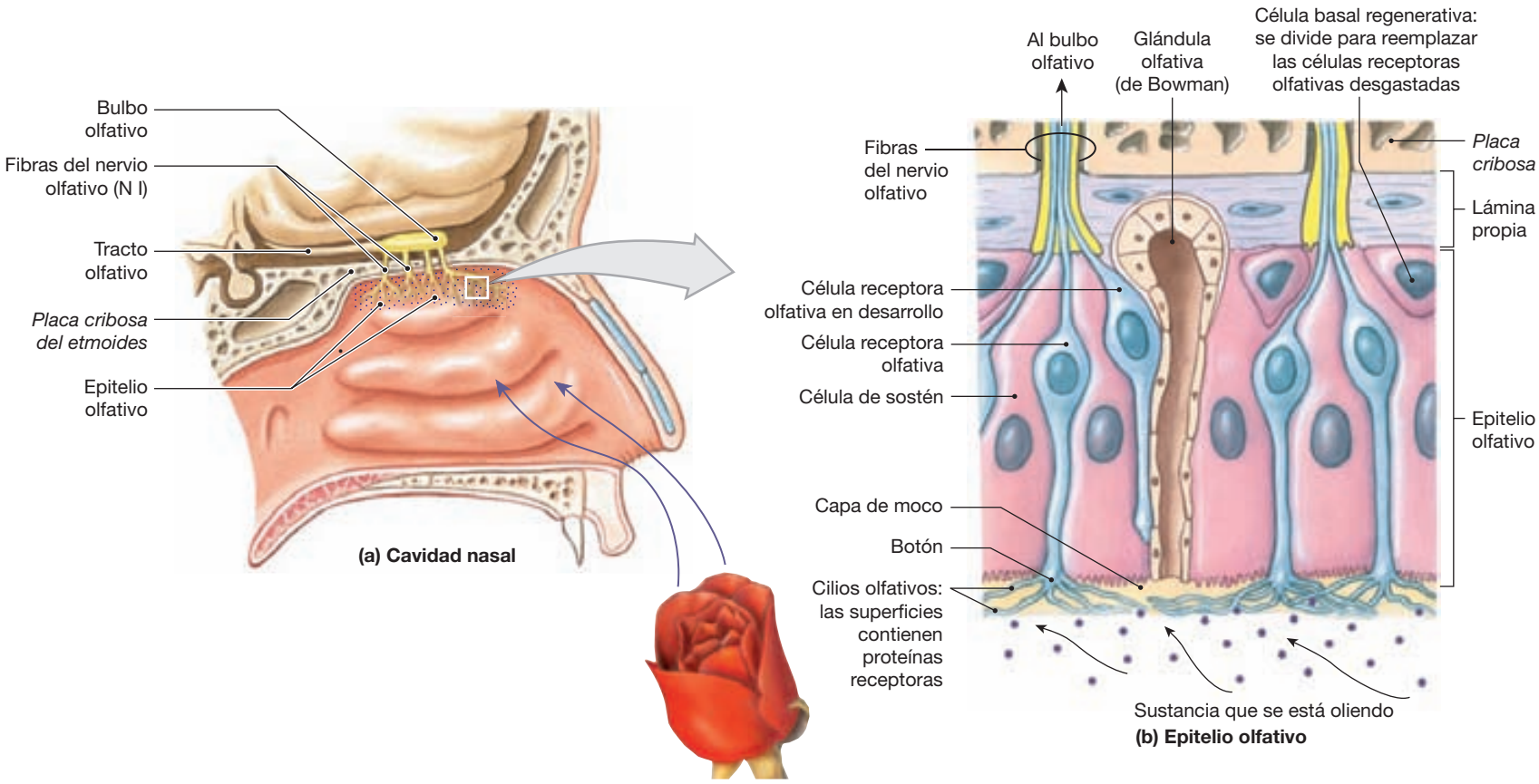


Figura 18.6 Órganos olfativos

(a) Distribución de los receptores olfativos en el lado izquierdo del tabique nasal se muestra sombreada. (**b**) Vista detallada del epitelio olfativo.

Discriminación olfativa

El sistema olfativo puede hacer distinciones sutiles entre miles de estímulos químicos. Sabemos que existen al menos 50 «olores primarios» diferentes. No existen diferencias estructurales aparentes entre las células olfativas, pero el epitelio en conjunto contiene poblaciones de receptores con sensibilidades claramente diferentes. El SNC interpreta el olor sobre la base del patrón particular de actividad del receptor.

Las células receptoras olfativas son los ejemplos mejor conocidos de reemplazo neuronal en el ser humano adulto (el reemplazo neuronal también puede producirse en el hipocampo, pero los mecanismos de regulación son desconocidos).

A pesar de experimentar reemplazo, el número total de receptores olfativos disminuye con la edad, y los receptores restantes pierden sensibilidad. Como resultado de esto, los individuos ancianos padecen dificultades para detectar olores que se encuentran en bajas concentraciones. Esta reducción del número de receptores explica la tendencia de las abuelas a ponerse perfume en cantidades excesivas y por qué los abuelos parecen tan cargados de loción para después del afeitado; deben aplicarse mayores cantidades para ser capaces de olerse a sí mismos.

Capacidad gustativa (gusto)

[v. figura 18.7a]

La **capacidad gustativa,** o gusto, proporciona información acerca de los alimentos y los líquidos que consumimos. Los **receptores gustativos** (receptores del gusto) están distribuidos por la superficie dorsal de la lengua (v. figura 18.7a) y las porciones adyacentes de la faringe y la laringe. Al llegar a la vida adulta los receptores del gusto del epitelio de la faringe y la laringe han disminuido en importancia, y los *botones gustativos* de la lengua son los receptores gustativos principales.

Los botones gustativos se sitúan a lo largo de los lados de proyecciones epiteliales denominadas **papilas** (*papilla*, montículo en forma de pezón). Existen tres tipos de papilas en la lengua humana: **filiformes** (*filum*, hilo), **fungiformes** (*fungus*, hongo) y **caliciformes** (*circum-*, alrededor + *vallum*, pared). Existen diferencias regionales en la distribución de las papilas (v. figura 18.7a).

Receptores gustativos [v. figura 18.7b,c]

Los receptores del gusto están agrupados en **botones gustativos** individuales (v. figura 18.7b,c). Cada botón gustativo contiene alrededor de 40 receptores

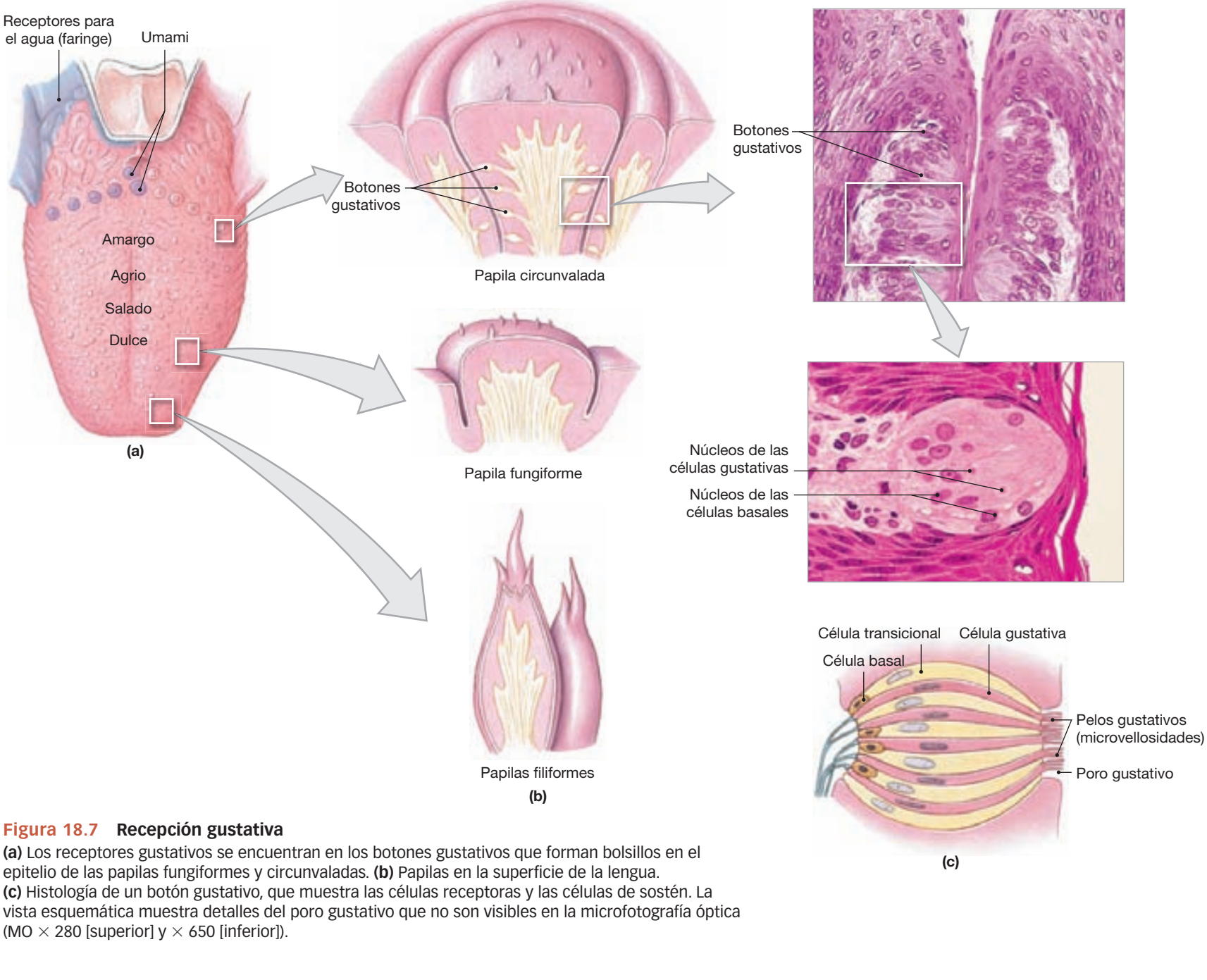


Figura 18.7 Recepción gustativa

(a) Los receptores gustativos se encuentran en los botones gustativos que forman bolsillos en el epitelio de las papilas fungiformes y circunvaladas. **(b)** Papilas en la superficie de la lengua. **(c)** Histología de un botón gustativo, que muestra las células receptoras y las células de sostén. La vista esquemática muestra detalles del poro gustativo que no son visibles en la microfotografía óptica (MO × 280 [superior] y × 650 [inferior]).

delgados, las denominadas **células gustativas.** Cada botón gustativo contiene al menos tres tipos diferentes de células gustativas, además de *células basales* que probablemente son células madre. Una célula gustativa típica permanece intacta sólo 10-12 días. Los botones gustativos están incluidos en el epitelio circundante y aislados del contenido oral relativamente no procesado. Cada célula gustativa emite finas microvellosidades, en ocasiones denominadas *pelos gustativos*, hacia los líquidos circundantes a través de una estrecha apertura, el **poro gustativo.**

Cada pequeña papila fungiforme contiene aproximadamente cinco botones gustativos, mientras que las grandes papilas circunvaladas, que forman una V cerca del margen posterior de la lengua, contienen hasta 100 botones gustativos por papila. Un adulto normal tiene más de 10.000 botones gustativos.

El mecanismo de recepción gustativa parece ser paralelo al de la olfacción. Las sustancias químicas disueltas que contactan con los pelos gustativos proporcionan el estímulo que produce un cambio en el potencial transmembrana de la célula gustativa. La estimulación de la célula gustativa da lugar a potenciales de acción en la fibra aferente.

Vías gustativas [v. figura 18.8]

Los botones gustativos están controlados por los nervios craneales VII (facial), IX (glosofaríngeo) y X (vago) (**v. figura 18.8**). Los aferentes sensitivos hacen sinapsis en el **núcleo solitario** del bulbo raquídeo; después los axones de las neuronas postsinápticas entran en el lemnisco medial [p. 432]. Después de otra sinapsis en el tálamo, la información se proyecta a las regiones apropiadas de la corteza gustativa.

Una percepción consciente del gusto implica la correlación de la información recibida de los botones gustativos con otros datos sensitivos. La información relacionada con la textura general del alimento, junto con las sensaciones de «sazón» o «calor» relacionadas con el gusto, es proporcionada por los aferentes sensitivos del nervio trigémino (N V). Además, el nivel de estimulación de los receptores olfativos tiene una función fundamental en la percepción gustativa. Somos varios miles de veces más sensibles a los «sabores» cuando nuestros órganos olfativos son completamente funcionales. Cuando se está resfriado, las moléculas transportadas por el aire no pueden alcanzar los receptores olfativos y las comidas saben sosas y poco atractivas. Esta reducción de la percepción gustativa se producirá incluso aunque los botones gustativos puedan estar respondiendo normalmente.

Discriminación gustativa

Muchas personas están familiarizadas con cuatro **sensaciones gustativas primarias:** dulce, salado, agrio y amargo. Aunque estas de hecho representan percepciones diferentes con las que generalmente se coincide, no llegan a describir toda la variación de percepciones que se experimentan. Por ejemplo, al describir un sabor particular la gente puede utilizar términos como *graso*, *a almidón*, *metálico*, *picante* o *astringente*. Además, otras culturas consideran «primarios» otros sabores. Sin embargo, recientemente se han descrito en humanos dos sabores adicionales:

- **Umami:** El **umami** es un sabor agradable que es característico del caldo de carne y del caldo de pollo. Este sabor es producido por receptores sensibles a la presencia de aminoácidos, especialmente glutamato, péptidos pequeños y nucleótidos. La distribución de estos receptores no se conoce con detalle, pero están presentes en los botones gustativos de las papilas circunvaladas.
- **Agua:** La mayoría de las personas dicen que el agua no tiene sabor. Sin embargo, la investigación en humanos y otros vertebrados ha demostrado la presencia de **receptores para el agua,** especialmente en la faringe. Sus eferencias sensitivas se procesan en el hipotálamo e influyen sobre varios sistemas que manejan el equilibrio hídrico y la regulación de la presión arterial.

Uno de los factores limitantes en el estudio de la recepción gustativa es que es muy difícil cuantificar los sabores científicamente. Se han identificado las células gustativas que proporcionan cada una de las sensaciones primarias, y

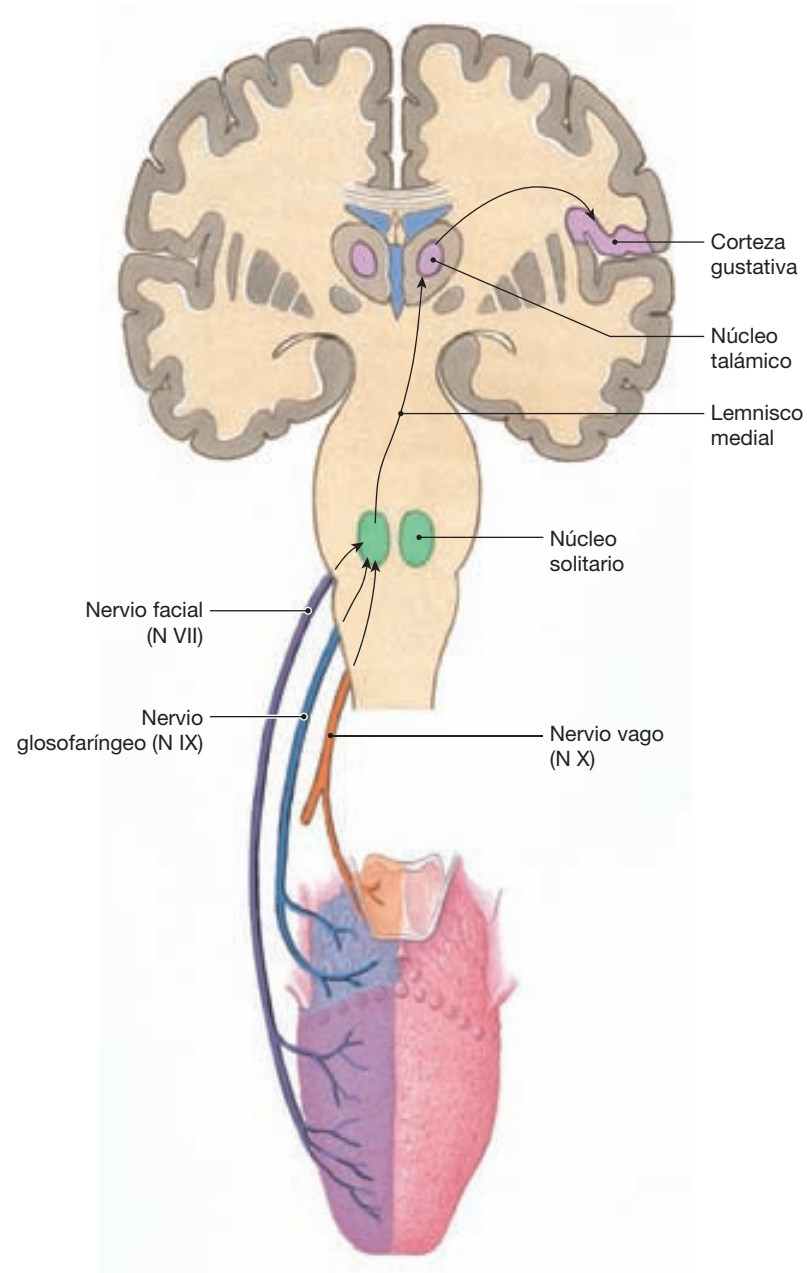


Figura 18.8 Vías gustativas
Tres nervios craneales (VII, IX y X) envían la información gustativa a la corteza gustativa del cerebro.

las características y permeabilidades de su plasmalema son diferentes. Aún queda por determinar cómo lo que parece ser un número relativamente pequeño de tipos de receptores proporciona una experiencia sensitiva tan rica y diversa.

El umbral para la estimulación del receptor varía para cada una de las sensaciones gustativas, y los receptores del gusto responden de forma más exacta a los estímulos desagradables que a los agradables. Por ejemplo, somos casi mil veces más sensibles a los ácidos, que dan un gusto agrio, que a las sustancias químicas dulces o saladas, y somos cien veces más sensibles a los compuestos amargos que los ácidos. Esta sensibilidad tiene valor para la supervivencia, porque los ácidos pueden dañar las membranas mucosas de la boca y la faringe, y muchas toxinas biológicas potentes producen un sabor extremadamente amargo.

Nuestras capacidades gustativas cambian con la edad. Comenzamos la vida con más de 10.000 botones gustativos, pero el número comienza a disminuir espectacularmente hacia los 50 años de edad. La pérdida sensitiva se hace especialmente significativa porque los individuos ancianos también experimentan una reducción de la población de receptores olfativos. Como consecuencia, muchas personas ancianas piensan que los alimentos saben insípidos y poco apetitosos, mientras que los niños a menudo encuentran las mismas comidas demasiado sabrosas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son las sensaciones gustativas primarias?
2. ¿Por qué los alimentos saben sosos cuando se padece un resfriado?
3. ¿Dónde están localizados los receptores del gusto?
4. Enumere los tres tipos de papilas de la lengua.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Equilibrio y audición [v. figura 18.9]

El oído se divide en tres regiones anatómicas: el *oído externo*, el *oído medio* y el *oído interno* (**v. figura 18.9**). El oído externo es la porción visible del oído, y recoge y dirige las ondas sonoras hacia el *tímpano*. El *oído medio* es una cámara localizada en la porción petrosa del hueso temporal. Las estructuras del oído medio amplifican las ondas sonoras y las transmiten a una porción apropiada del oído interno. El *oído interno* contiene los órganos sensoriales del equilibrio y la audición.

Oído externo [v. figuras 18.9/18.10a,b]

El **oído externo** incluye la **aurícula** flexible, u *oreja*, que se sostiene por cartílago elástico. La aurícula del oído rodea el **conducto auditivo externo.** La oreja protege el conducto auditivo externo y proporciona una sensibilidad direccional al oído al bloquear o facilitar el paso del sonido hacia el **tímpano,** también denominado **membrana timpánica** (**v. figuras 18.9** y **18.10a**). La membrana timpánica es una hoja de tejido conjuntivo fina y semitransparente (**v. figura 18.10b**) que separa el oído externo del oído medio.

La membrana timpánica es muy delicada. La aurícula y el estrecho conducto auditivo externo proporcionan cierta protección contra la lesión accidental de la membrana timpánica. Además, las **glándulas ceruminosas** distribuidas a lo largo del conducto auditivo externo secretan un material céreo y los pelos muy pequeños que se proyectan hacia el exterior ayudan a evitar el acceso de objetos extraños o insectos. La secreción céreа de las glándulas ceruminosas, denominada **cerumen,** también enlentece el crecimiento de los microorganismos en el conducto auditivo externo y reduce las posibilidades de infección.

Oído medio [v. figuras 18.9/18.10]

El **oído medio** consta de un espacio lleno de aire, la **cavidad timpánica,** que contiene los *huesecillos del oído* (**v. figuras 18.9** y **18.10**). La cavidad timpánica está separada del conducto auditivo externo por la membrana timpánica, pero se comunica con la nasofaringe a través de la trompa auditiva y con las celdillas mastoideas a través de una serie de conexiones pequeñas y variables [p. 146]. La **trompa auditiva** también se denomina *trompa faringotimpánica* o *trompa de Eustaquio*. Este conducto, de aproximadamente 4 cm de longitud, penetra en la porción petrosa del hueso temporal en el *conducto musculotubárico*. La conexión con la cavidad timpánica es relativamente estrecha y se sostiene por cartílago elástico. La apertura a la nasofaringe es relativamente amplia y en forma de embudo. La trompa auditiva sirve para igualar la presión en la cavidad del oído medio con la presión atmosférica, externa. La presión debe ser igual a ambos lados de la membrana timpánica o existiría una distorsión dolorosa de la membrana. Lamentablemente, la trompa auditiva también puede permitir que los microorganismos viajen desde la nasofaringe hasta la cavidad timpánica, dando lugar a una «infección ótica». Estas infecciones son especialmente frecuentes en los niños, porque sus trompas auditivas son relativamente cortas y anchas en comparación con las de los adultos.

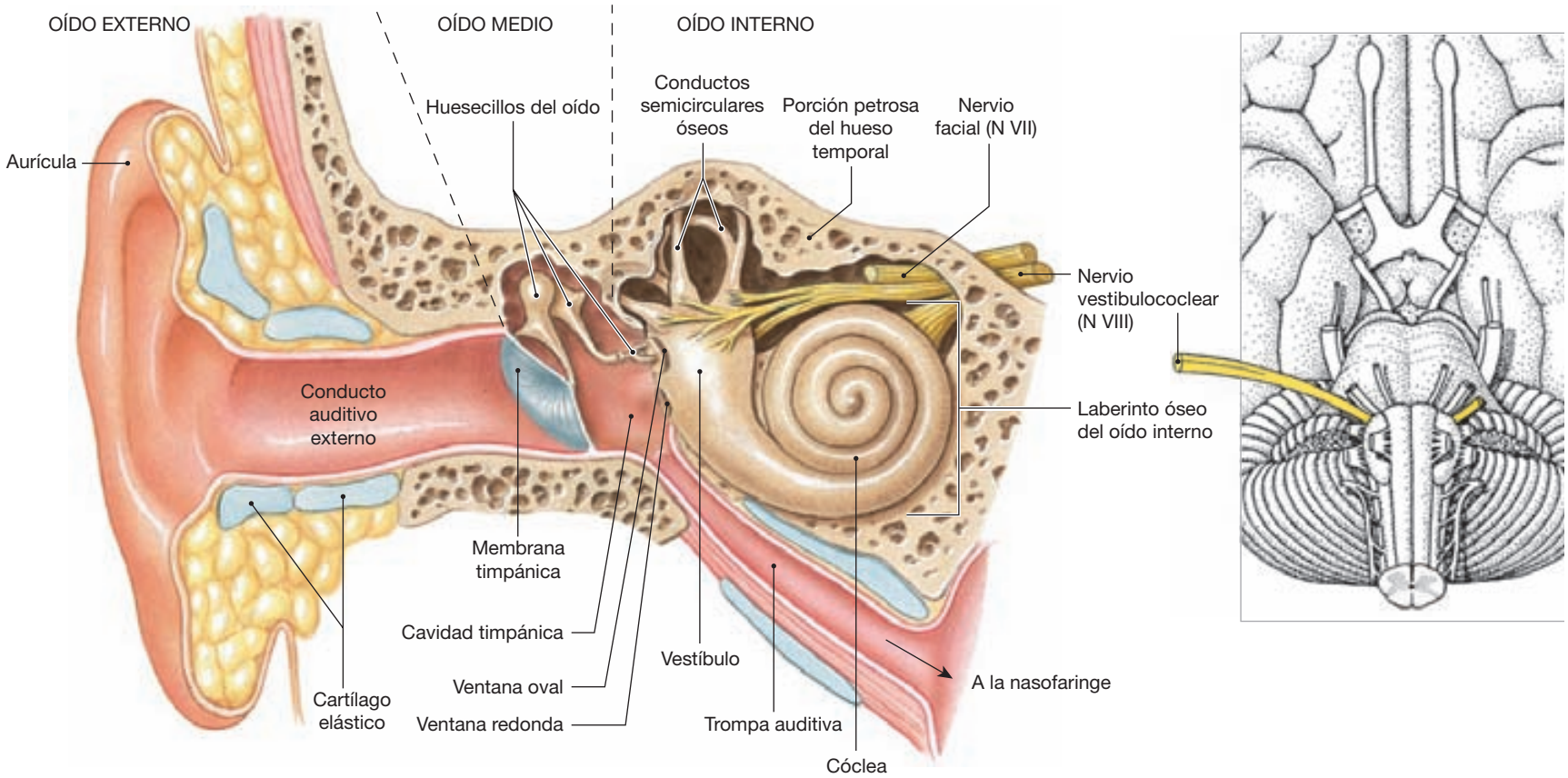
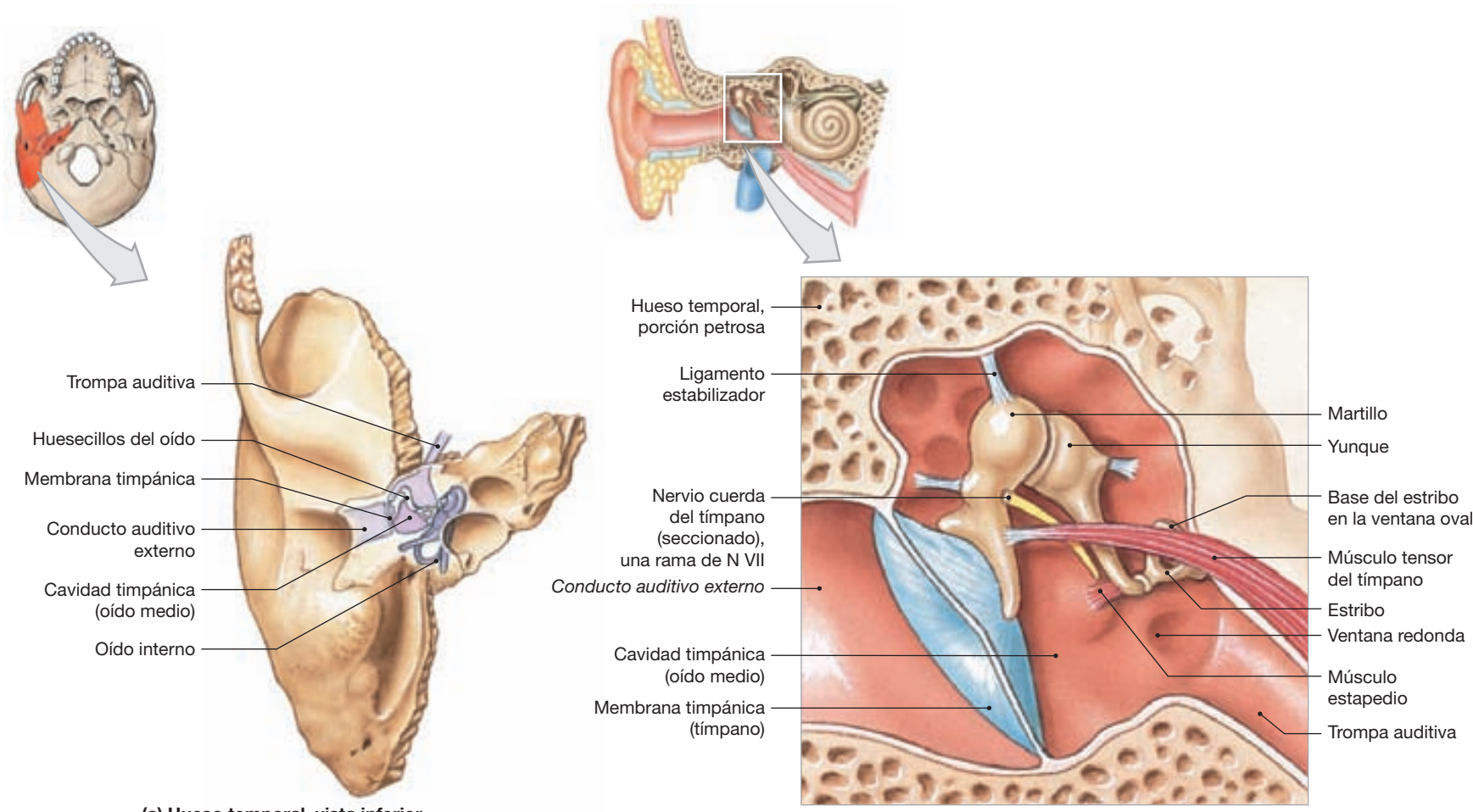
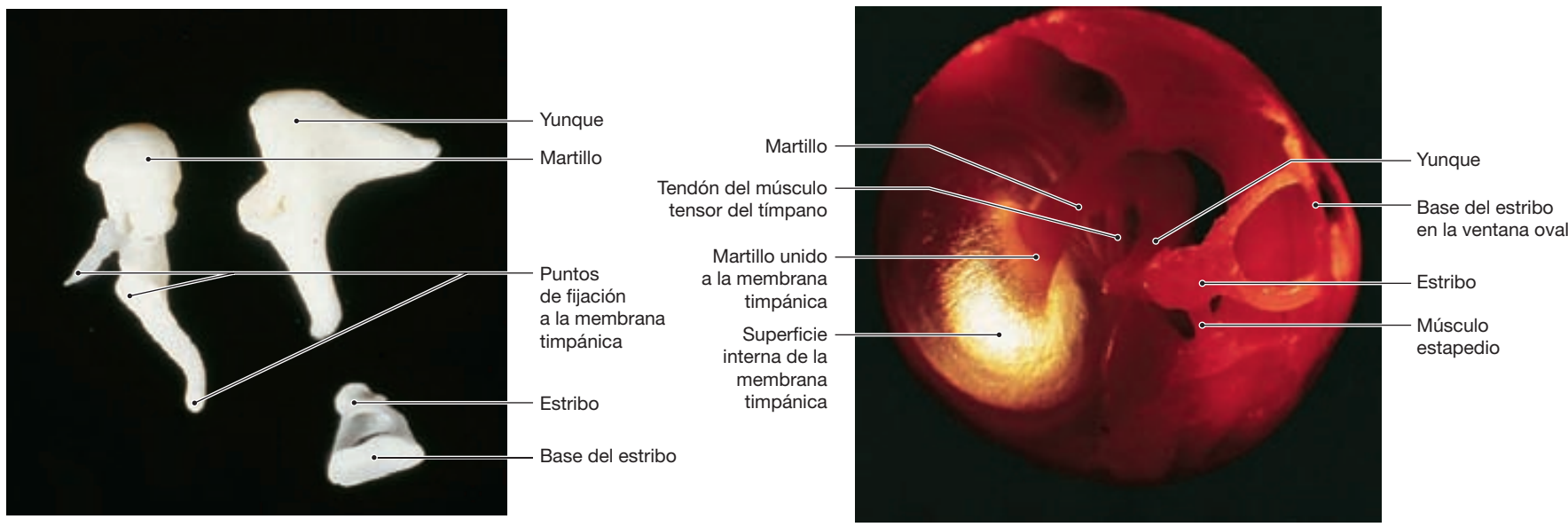


Figura 18.9 Anatomía del oído
Orientación general del oído externo, medio e interno.



(a) Hueso temporal, vista inferior

(b) Oído medio



(c) Huesecillos del oído

(d) Membrana timpánica y huesecillos

Figura 18.10 Oído medio

(a) Vista inferior del hueso temporal derecho, dibujado como si fuera transparente, para mostrar la localización del oído medio e interno. **(b)** Estructuras en la cavidad del oído medio. **(c)** Huesecillos del oído aislados. **(d)** Membrana timpánica y huesecillos del oído como se observan a través de un tubo fibroóptico insertado a lo largo del conducto auditivo y en la cavidad del oído medio.

Huesecillos del oído [v. figuras 18.9/18.10]

La cavidad timpánica contiene tres pequeños huesos denominados en conjunto **huesecillos del oído** [p. 146]. Estos huesos del oído, los más pequeños del cuerpo, conectan la membrana timpánica con el complejo receptor del oído interno (**v. figuras 18.9** y **18.10**). Los tres huesecillos del oído son el *martillo*, el *yunque* y el *estribo*. Estos huesos actúan como palancas que transfieren las vibraciones del sonido desde el tímpano hasta una cámara llena de líquido en el oído interno.

La superficie lateral del **martillo** *(malleus)* se fija a la superficie interior del tímpano en tres puntos. El hueso medio, el **yunque** *(incus),* conecta la superficie medial del martillo con el **estribo** *(stapes)*. La *base,* o *plataforma,* del estribo siempre cubre completamente la *ventana oval,* un orificio en la pared ósea de la cavidad del oído medio. Un *ligamento anular* se extiende entre la base del estribo y los márgenes óseos de la ventana oval.

La vibración del tímpano convierte las ondas sonoras que llegan en movimientos mecánicos. Después los huesecillos del oído conducen esas vibraciones, y el movimiento del estribo transmite las vibraciones al contenido líquido del oído interno. Debido a la forma en que están conectados estos huesecillos, un movimiento hacia dentro y fuera de la membrana timpánica produce un movimiento de balanceo del estribo. La membrana timpánica es 22 veces más grande que la ventana oval, y la cantidad de fuerza aplicada aumenta proporcionalmente desde la membrana timpánica hasta la ventana oval. Este proceso de amplificación produce una desviación relativamente potente del estribo en la ventana oval.

Gracias a que se produce esta amplificación, podemos oír sonidos muy débiles. Pero este grado de magnificación puede ser un problema si estamos expuestos a ruidos muy intensos. En la cavidad timpánica, hay dos músculos pequeños que sirven para proteger el tímpano y los huesecillos de movimientos violentos en ambientes muy ruidosos.

- El **músculo tensor del tímpano** es una corta cinta de músculo cuyo origen es la porción petrosa del hueso temporal, en el conducto musculotubárico, y cuya inserción está en el «asa» del martillo (**v. figura 18.10b,d**). Cuando el tensor del tímpano se contrae, el martillo es impulsado medialmente, tensando el tímpano. Este aumento de tensión reduce la cantidad posible de movimiento. El músculo tensor del tímpano está inervado por las fibras motoras de la rama mandibular del nervio trigémino (N V).
- El **músculo estapedio,** inervado por el nervio facial (N VII), se origina en la pared posterior de la cavidad timpánica y se inserta en el estribo (**v. figura 18.10b,d**). La contracción del estapedio empuja el estribo reduciendo su movimiento en la ventana oval.

Oído interno [v. figuras 18.9 a 18.13]

El sentido del equilibrio y la audición están proporcionados por los receptores del **oído interno** (**v. figuras 18.9** y **18.11**). Los receptores se encuentran alojados en un conjunto de cámaras y conductos llenos de líquido conocidos como **laberinto** (*labyrinthos*, red de canales) **membranoso.** El laberinto membranoso contiene un líquido denominado **endolinfa.** Las células receptoras del oído interno únicamente pueden funcionar cuando están expuestas a la composición iónica única de la endolinfa (la endolinfa tiene una concentración relativamente elevada de iones potasio y una concentración relativamente baja de iones sodio, mientras que los líquidos extracelulares típicos tienen concentraciones elevadas de iones sodio y bajas de potasio).

El **laberinto óseo** es una cáscara de hueso denso que rodea y protege el laberinto membranoso. Su contorno interno sigue estrechamente el contorno del laberinto membranoso (**v. figura 18.12**), mientras que sus paredes externas

Nota clínica

Otitis media y mastoiditis La **otitis media aguda** es una infección del oído medio, frecuentemente de origen bacteriano. Ocurre con frecuencia en lactantes y niños y se observa ocasionalmente en adultos. El oído medio, generalmente una cavidad estéril llena de aire, se infecta por patógenos que llegan a través de la trompa auditiva, a menudo durante una infección de las vías respiratorias altas. Si está causada por un virus, la otitis media puede resolverse en unos pocos días sin utilizar antibióticos. Esta «espera vigilante» es más adecuada donde se dispone fácilmente de atención médica; el dolor se reduce con analgésicos y el uso de descongestionantes ayuda a drenar el moco claro estancado producido en respuesta al edema de la mucosa.

Si están implicadas bacterias, los síntomas empeoran y el moco se hace turbio por las bacterias y los neutrófilos activos o muertos. La otitis media grave debe tratarse con antibióticos sin demora. A medida que el pus se acumula en la cavidad del oído medio, la membrana timpánica llega a distorsionarse de forma dolorosa, y en los casos no tratados a menudo se romperá, produciendo un drenaje característico por el conducto auditivo externo. La infección también puede extenderse a las celdillas aéreas de la mastoides. La **mastoiditis crónica,** acompañada de drenaje a través de un tímpano perforado y cicatrización alrededor de los huesecillos del oído, es una causa frecuente de pérdida auditiva en áreas del mundo sin acceso al tratamiento médico. En los países desarrollados, es raro que la otitis media progrese hasta la fase en que se produce la ruptura de la membrana timpánica o la infección del hueso mastoideo adyacente. La *otitis media serosa* (OMS) consiste en la acumulación de un líquido claro y denso, similar a pegamento, en el oído medio. El trastorno, que puede seguir a una otitis media aguda o puede derivar de infección nasal crónica y de alergias, causa pérdida auditiva. Los niños pequeños afectados pueden tener como consecuencia un retraso del desarrollo del lenguaje. El tratamiento incluye descongestionantes, antihistamínicos y, en algunos casos, tratamiento antibiótico prolongado. Los casos que no responden y la otitis media recurrente pueden tratarse mediante miringotomía (drenaje del oído medio a través de una apertura quirúrgica en la membrana timpánica) y la colocación transitoria de un tubo en la membrana. Cuando los niños crecen, la trompa auditiva aumenta de tamaño, permitiendo un mejor drenaje durante las infecciones respiratorias altas, por lo que ambas formas de otitis media se hacen menos frecuentes.

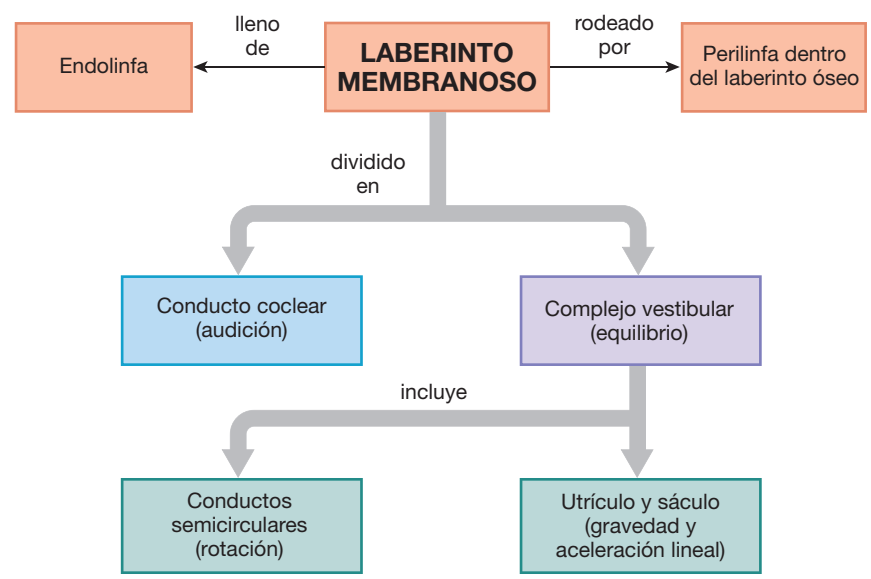


Figura 18.11 Relaciones estructurales del oído interno
Organigrama que muestra las estructuras y espacios del oído interno, los líquidos que contiene y lo que estimula estos receptores.

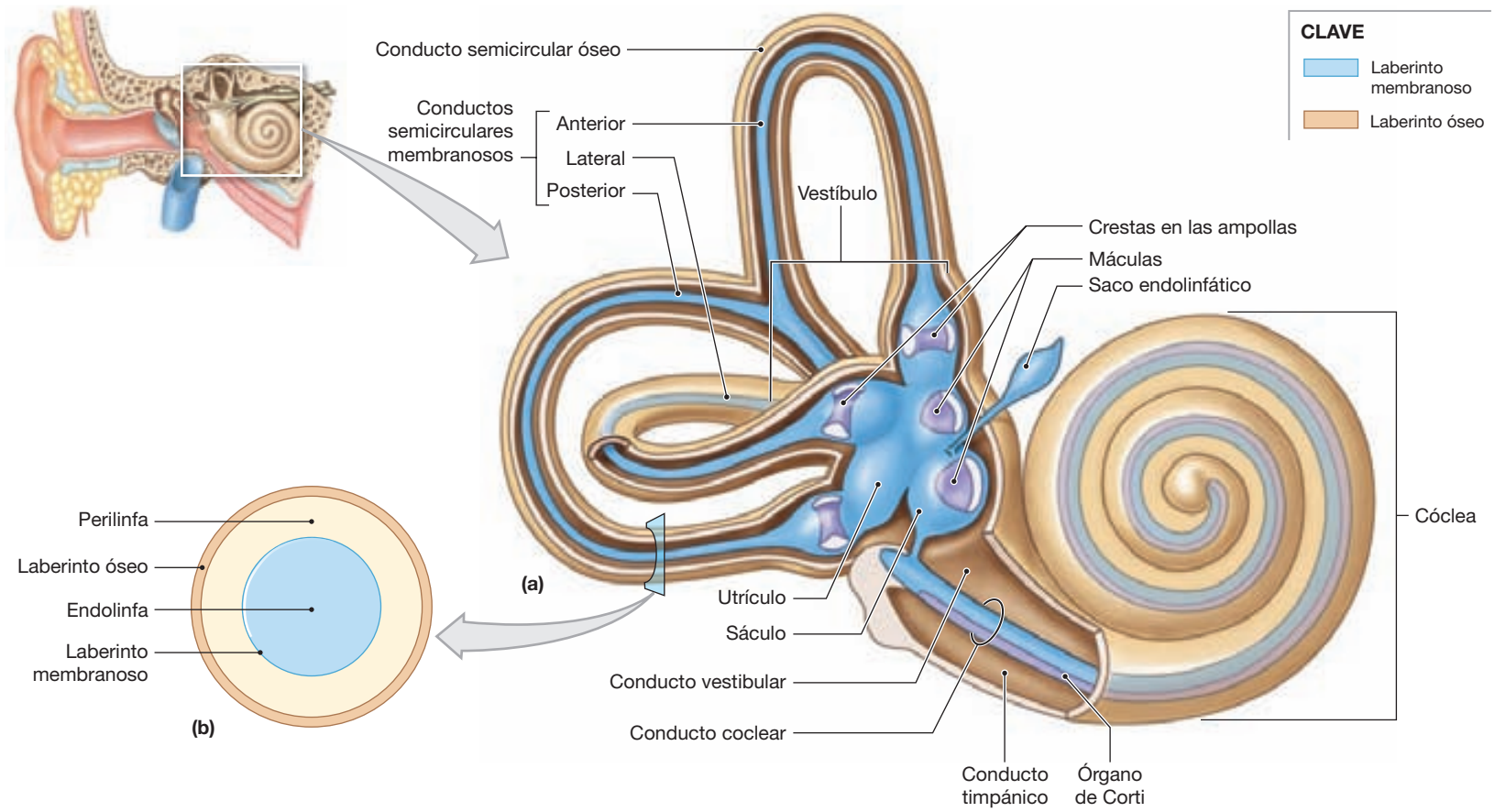


Figura 18.12 Conductos semicirculares óseos y membranosos
Orientación del laberinto óseo en la porción petrosa de cada hueso temporal. **(a)** Vista anterior del laberinto óseo, seccionado para mostrar los conductos semicirculares óseos y los conductos semicirculares membranosos del laberinto membranoso. **(b)** Sección transversal de un conducto semicircular óseo para mostrar la orientación del laberinto óseo, la perilinfa, el laberinto membranoso y la endolinfa.

están fusionadas con el hueso temporal circundante [p. 145]. Entre los laberintos óseo y membranoso fluye la **perilinfa,** un líquido cuyas propiedades recuerdan en gran medida las del líquido cefalorraquídeo.

El laberinto óseo puede subdividirse en el **vestíbulo,** los **conductos semicirculares óseos** y la **cóclea** (*cochlea*, caracol) como se observa en las figuras 18.9 y 18.12a. La función de las estructuras y espacios aéreos del oído externo y del oído medio es capturar y transmitir el sonido a la cóclea.

El vestíbulo y los conductos semicirculares se denominan en conjunto *complejo vestibular*, porque las cámaras llenas de líquido del vestíbulo se continúan ampliamente con los conductos semicirculares. La cavidad del vestíbulo contiene un par de sacos membranosos, el **utrículo** y el **sáculo.** Los receptores del utrículo y el sáculo proporcionan la sensación de gravedad y aceleración lineal. Los de los conductos semicirculares son estimulados por la rotación de la cabeza.

La cóclea contiene una porción fina elongada del laberinto membranoso conocida como **conducto coclear** (v. figura 18.12a). El conducto coclear queda englobado entre un par de cámaras llenas de perilinfa, y todo el complejo da vueltas alrededor de un núcleo óseo central. En una sección la disposición espiral recuerda la de un caracol, o *cochlea* en latín.

Las paredes externas de las cámaras perilinfáticas constan de hueso denso en todas partes excepto en dos pequeñas áreas cerca de la base de la espiral coclear. La **ventana redonda,** o *ventana coclear*, es la más inferior de las dos aperturas. Una membrana delgada y flexible se extiende sobre la apertura y separa la perilinfa de una de las cámaras cocleares del aire del oído medio (v. figura 18.9). La **ventana oval** es la más superior de las dos aperturas de la pared coclear (v. figura 18.10b,c,d). La base del estribo rellena casi completamente la ventana oval. El ligamento anular, que se extiende entre los bordes de la base y los márgenes de la ventana oval, completa el cierre. Cuando un sonido hace vibrar el tímpano, los movimientos son transmitidos a la perilinfa del oído interno por los movimientos del estribo. Este proceso finalmente conduce a la estimulación de los receptores del conducto coclear, y «oímos» el sonido.

Los receptores sensoriales del oído interno se denominan **células pilosas** (v. figura 18.13d). Estas células receptoras están rodeadas por **células de sostén** y están controladas por fibras aferentes sensitivas. La superficie libre de cada célula pilosa tiene 80-100 largos *estereocilios* [p. 53]. Las células pilosas son mecanorreceptores muy especializados sensibles a la distorsión de sus estereocilios. Su capacidad para proporcionar el sentido del equilibrio en el vestíbulo y de la audición en la cóclea depende de la presencia de estructuras accesorias que limitan las fuentes de estimulación. La importancia de estas estructuras accesorias se hará evidente cuando consideremos la función de la célula pilosa en la siguiente sección.

Complejo vestibular y equilibrio

El **complejo vestibular** es la parte del oído interno que proporciona el sentido del equilibrio al detectar la rotación, la gravedad y la aceleración. Consta de los conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo.

Conductos semicirculares óseos [v. figura 18.12/18.13/18.14] Los **conductos semicirculares óseos anterior, posterior** y **lateral** se continúan con el vestíbulo (v. figuras 18.12a y 18.13a). Cada conducto semicircular óseo rodea un **conducto semicircular membranoso.** El conducto membranoso presenta una región dilatada, la **ampolla,** que contiene los receptores sensoriales. Estos receptores responden a los movimientos de rotación de la cabeza.

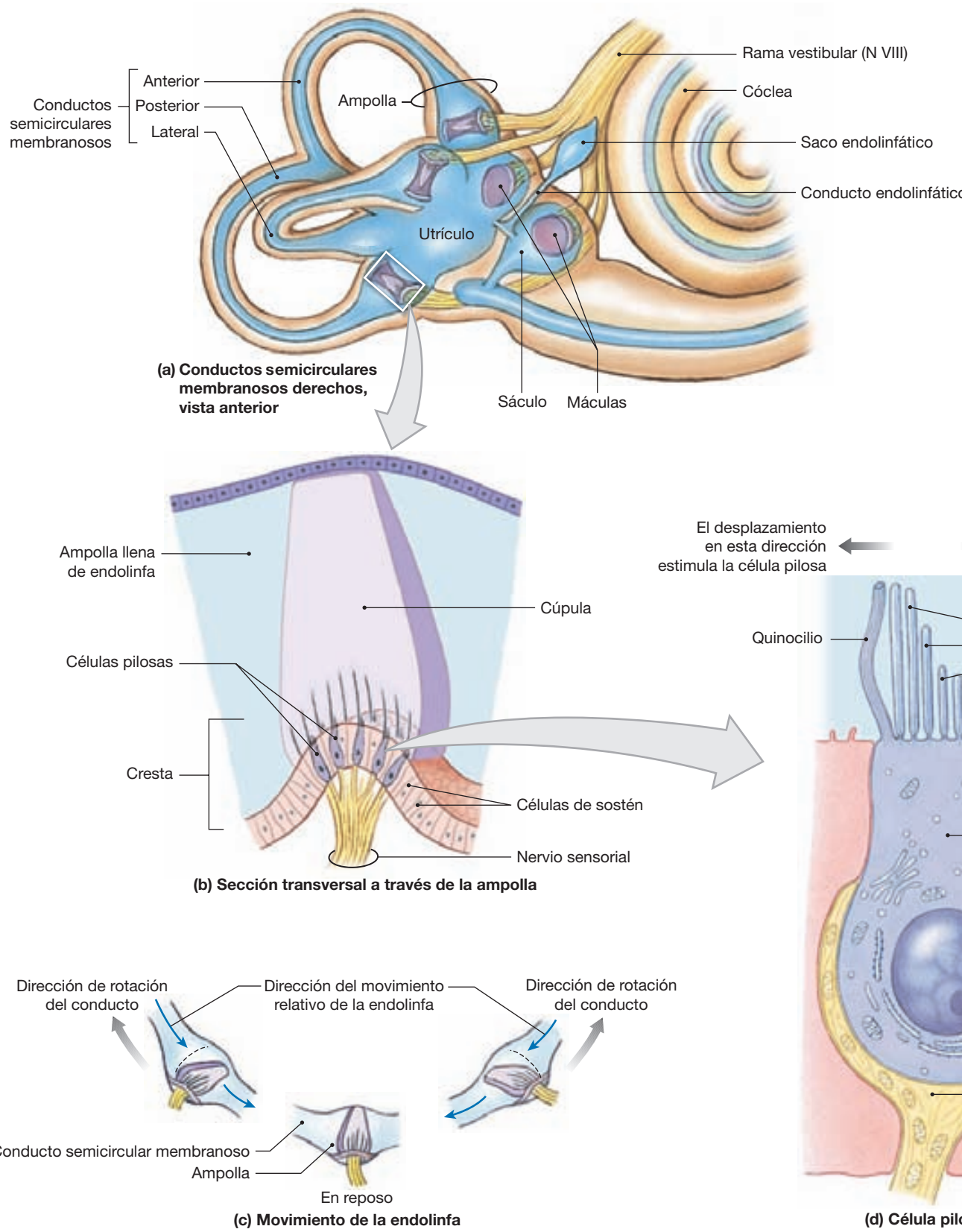


Figura 18.13 Función de los conductos semicirculares membranosos, parte I

(a) Vista anterior de las máculas y los conductos semicirculares membranosos del lado derecho. **(b)** Sección a través de la ampolla de un conducto semicircular membranoso. **(c)** El movimiento de la endolinfa a lo largo de la longitud del conducto mueve la cúpula y estimula las células pilosas. **(d)** Estructura de una célula pilosa típica, que muestra los detalles que revela la microscopia electrónica. La inclinación de los estereocilios hacia el quinocilio despolariza la célula y estimula la neurona sensorial. El desplazamiento en la dirección opuesta inhibe la neurona sensorial.

Las células pilosas unidas a la pared de la ampolla forman una estructura elevada conocida como **cresta** (v. figuras 18.12a y 18.13). Además de sus estereocilios, cada célula pilosa del vestíbulo contiene también un **quinocilio,** un único cilio grande (v. figura 18.13d). Las células pilosas no mueven activamente sus quinocilios y estereocilios. Sin embargo, cuando una fuerza externa empuja contra estas prolongaciones, la distorsión del plasmalema altera la velocidad de liberación del transmisor químico por la célula pilosa.

Los quinocilios y estereocilios de las células pilosas se encuentran alojados en una estructura gelatinosa, la **cúpula.** Puesto que la cúpula tiene una densidad muy cercana a la de la endolinfa circundante, esencialmente «flota»

sobre la superficie del receptor, llenando casi la ampolla. Cuando la cabeza rota en el plano del conducto, el movimiento de la endolinfa a lo largo del eje del conducto empuja la cúpula y distorsiona las prolongaciones del receptor (v. figura 18.13c). El movimiento del líquido en una dirección estimula las células pilosas, y el movimiento en la dirección opuesta las inhibe. Cuando la endolinfa deja de moverse, la naturaleza elástica de la cúpula hace que «rebote» hasta su posición normal.

Incluso el movimiento más complejo puede ser analizado en términos de desplazamiento en los tres planos de rotación. Los receptores de cada conducto semicircular responden a uno de estos movimientos de rotación (v. figura 18.14). Una rotación horizontal, como al agitar la cabeza diciendo «no», estimula las células pilosas del conducto semicircular lateral. Asentir con la cabeza excita el conducto anterior, mientras que inclinar la cabeza de un lado a otro activa los receptores del conducto posterior.

Utrículo y sáculo [v. figuras 18.13a/18.15] Un fino conducto que se continúa con el estrecho **conducto endolinfático** conecta el utrículo y el sáculo (v. figura 18.13a). El conducto endolinfático termina en una bolsita ciega, el **saco endolinfático,** que se proyecta a través de la duramadre que recubre el hueso temporal y al interior del espacio subdural. Las porciones del conducto coclear secretan continuamente endolinfa, y en el saco endolinfático el exceso de líquido vuelve a la circulación general.

Las células pilosas del utrículo y el sáculo están agrupadas en la **mácula** (*macula*, mancha) oval (v. figuras 18.13a y 18.15). Como en las ampollas, las prolongaciones de las células pilosas están incluidas en una masa gelatinosa. Sin embargo, la superficie de este material gelatinoso contiene cristales de carbonato cálcico densamente agrupados conocidos como **estatoconias** (*conia*, polvo). El complejo como un todo (matriz gelatinosa y estatoconias), denominado **otolito** (*oto-*, oído + *lithos*, piedra), puede observarse en la figura 18.15b.

Cuando la cabeza está en la posición erecta normal, los otolitos descansan en la parte superior de las máculas. Su peso presiona sobre las superficies maculares, empujando los pelos sensoriales hacia abajo en lugar de a un lado u otro. Cuando la cabeza se inclina, el empuje de la gravedad sobre los otolitos los desplaza hacia ese lado. Este desplazamiento distorsiona los pelos sensoriales, y el cambio en la actividad del receptor dice al SNC que la cabeza ya no está recta (v. figura 18.15c).

Por ejemplo, cuando un ascensor comienza su descenso, inmediatamente somos conscientes de ello porque los otolitos ya no empujan con tanta fuerza contra la superficie de las células receptoras. Una vez que las alcanzan, ya no somos conscientes de ningún movimiento hasta que el ascensor frena para detenerse. A medida que el cuerpo reduce la velocidad, los otolitos presionan con más fuerza contra las células pilosas, y «sentimos» aumentar la fuerza de la gravedad. Un mecanismo similar explica nuestra percepción de la aceleración lineal en un coche que aumenta de velocidad súbitamente. Los otolitos son arrastrados, distorsionando los pelos sensoriales y cambiando la actividad en las neuronas sensitivas.

Nota clínica

Nistagmo Movimientos oculares automáticos que se producen en respuesta a una sensación de movimiento (sea real o ilusoria) bajo la dirección de los *colículos superiores* [p. 410]. Estos movimientos intentan mantener la mirada enfocada en un punto específico del espacio. Cuando giras, tus ojos se mantienen fijos en un punto durante un momento y después saltan directos hacia otro en una serie de movimientos cortos, rítmicos y espasmódicos. Estos movimientos oculares pueden aparecer en individuos normales inmóviles con la mirada lateral extrema y después de una lesión o estimulación del tronco del encéfalo o el oído interno. Esta condición se denomina **nistagmo**. Los médicos con frecuencia exploran si existe nistagmo pidiendo al sujeto que mire una pequeña linterna al moverla a través del campo de visión.

Vías para la sensibilidad vestibular [v. figura 18.16] Las células pilosas del vestíbulo y los conductos semicirculares están controladas por neuronas sensitivas localizadas en los **ganglios vestibulares** adyacentes. Las fibras sensitivas de cada ganglio forman la **rama vestibular** del nervio vestibulococlear (N VIII). Estas fibras hacen sinapsis con las neuronas de los núcleos vestibulares en el límite entre la protuberancia y el bulbo raquídeo. Los dos núcleos vestibulares:

1. Integran la información sensitiva relacionada con el equilibrio que llega desde cada lado de la cabeza.
2. Transmiten la información desde el aparato vestibular hasta el cerebelo.
3. Transmiten la información desde el aparato vestibular hasta la corteza cerebral, proporcionando una sensación consciente de la posición y el movimiento.
4. Envían órdenes a los núcleos motores del tronco del encéfalo y la médula espinal.

Las órdenes motoras reflejas enviadas por el núcleo vestibular se distribuyen a los núcleos motores de los nervios craneales implicados con los movimientos del ojo, la cabeza y el cuello (N III, N IV, N VI y N XI). Las instrucciones descendentes a lo largo de los **tractos vestibuloespinales** de la médula espinal ajustan el tono del músculo periférico para complementar los movimientos reflejos de la cabeza o el cuello [p. 439]. Estas vías se ilustran en la figura 18.16.

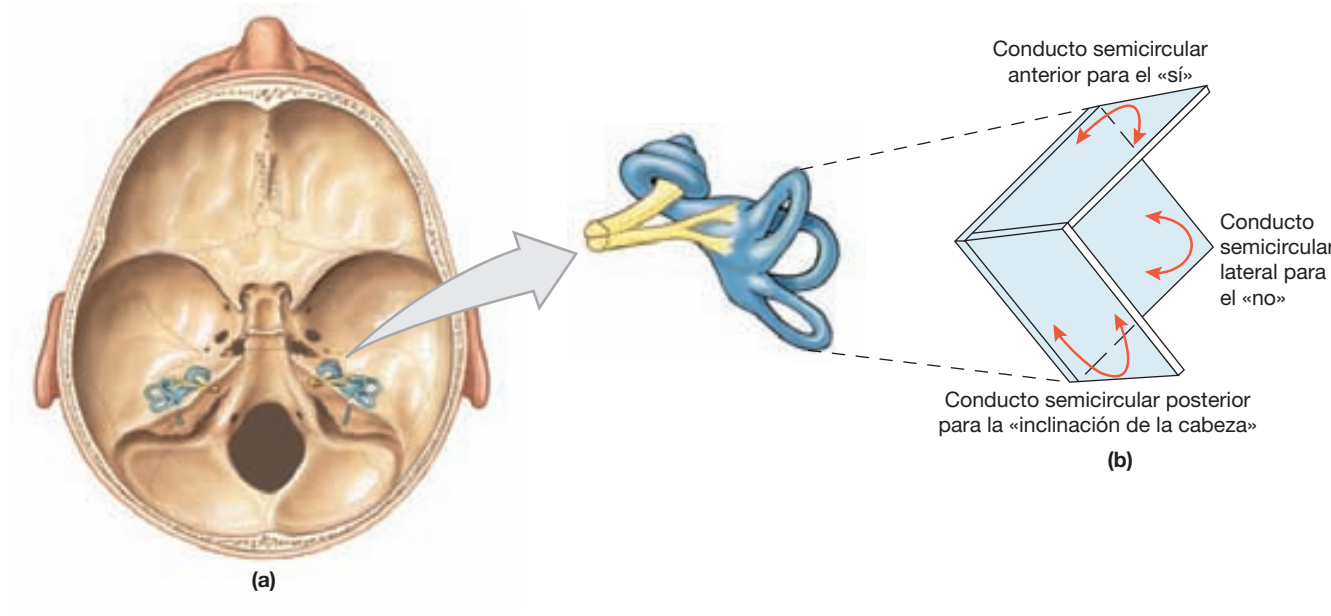
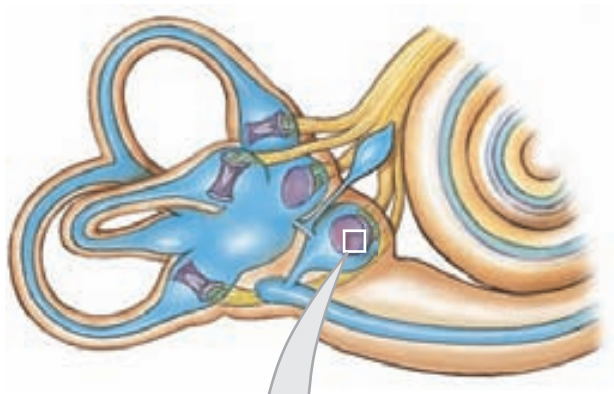
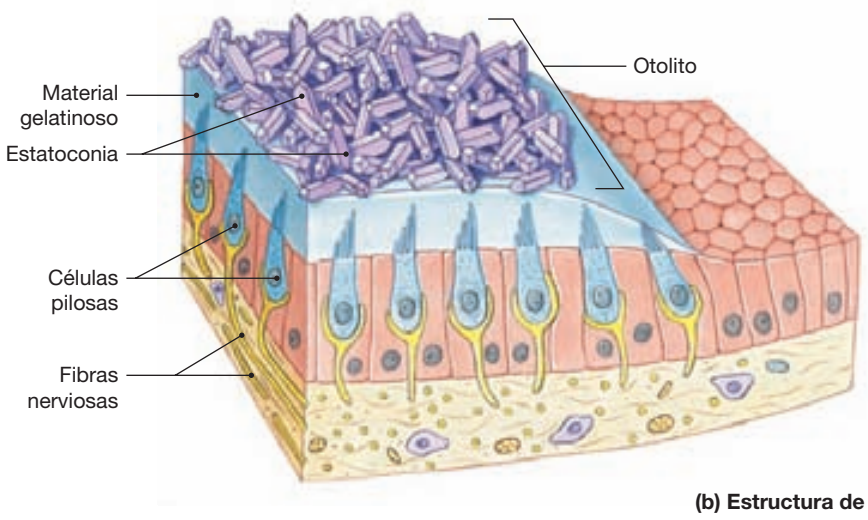

Conducto semicircular anterior para el «sí»
Conducto semicircular lateral para el «no»
Conducto semicircular posterior para la «inclinación de la cabeza»
(a)
(b)

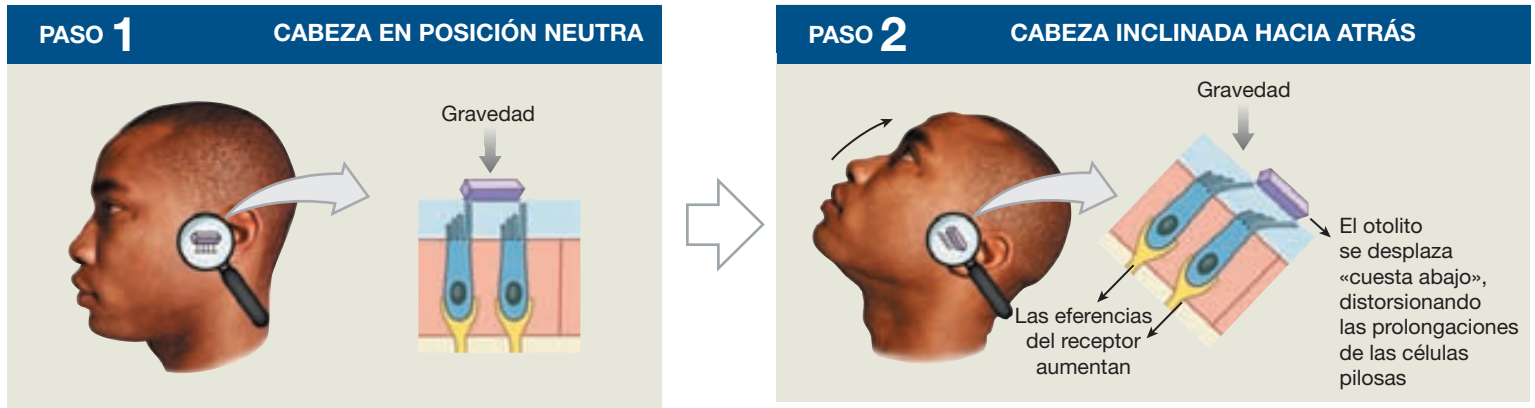
Figura 18.14 Función de los conductos semicirculares membranosos, parte II
(a) Localización y orientación del laberinto membranoso en las porciones petrosas de los huesos temporales. **(b)** Vista superior que muestra los planos de sensibilidad para los conductos semicirculares membranosos.



(a) Complejo vestibular, vista anterior



(b) Estructura de una mácula


PASO 1
CABEZA EN POSICIÓN NEUTRA
Gravedad
PASO 2
CABEZA INCLINADA HACIA ATRÁS
Gravedad
El otolito se desplaza «cuesta abajo», distorsionando las prolongaciones de las células pilosas
Las eferencias del receptor aumentan

(c) Función macular

Figura 18.15 Máculas del vestíbulo
(a) Estructura detallada de una mácula sensorial. **(b)** Microfotografía electrónica de barrido que muestra la estructura cristalina de los otolitos. **(c)** Vista esquemática de los cambios en la posición de los otolitos durante la inclinación de la cabeza.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Inesperadamente se encuentra expuesto a ruidos muy intensos. ¿Qué ocurre en la cavidad timpánica para proteger el tímpano de una lesión?
2. Identifique los huesecillos del oído y describa sus funciones.
3. ¿Qué es la perilinfa? ¿Dónde se localiza?
4. Cuando se niega con la cabeza, se es consciente de este movimiento. ¿Cómo se detecta esta sensación?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Audición

Cóclea [v. figura 18.17]

La cóclea ósea (v. figura 18.17) se enrolla alrededor de un núcleo central, o **modiolo.** En la espiral coclear generalmente existen 2,5 vueltas. El modiolo encierra el **ganglio espiral,** que contiene los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas que controlan los receptores del conducto coclear. En una vista en sección, el *conducto coclear,* o *rampa media,* se sitúa entre un par de cámaras perilinfáticas, el **conducto vestibular** *(rampa vestibular)* y el **conducto**

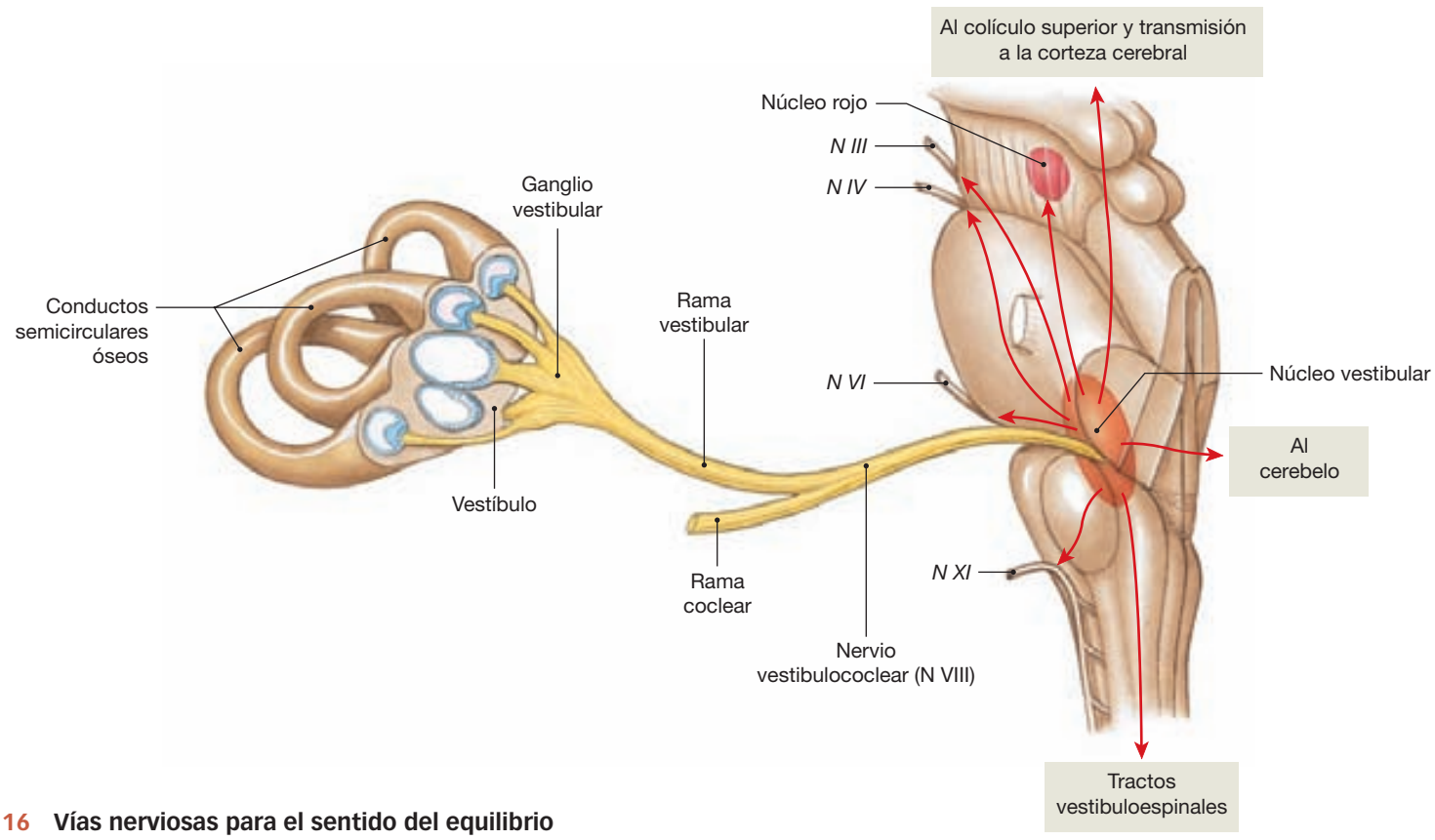


Figura 18.16 **Vías nerviosas para el sentido del equilibrio**

Nota clínica

Vértigo, cinetosis y enfermedad de Ménière El término **vértigo** describe una sensación inadecuada de movimiento, generalmente una sensación de giro. Este significado lo distingue del «mareo», una sensación de aturdimiento y desorientación. El vértigo puede derivar de trastornos anormales o de la estimulación del oído interno o de problemas en cualquier localización a lo largo de la vía sensorial que lleva la sensación del equilibrio. Puede acompañar a infecciones del SNC u otras, y muchas personas experimentan vértigo cuando tienen fiebre elevada.

Cualquier fenómeno que ponga en movimiento la endolinfa puede estimular los receptores del equilibrio y producir vértigo. Colocar hielo en el área sobre la apófisis mastoides del hueso temporal o irrigar el conducto auditivo externo con agua fría puede enfriar la endolinfa de las porciones más externas del laberinto y establecer una circulación del líquido relacionada con la temperatura. El resultado es un vértigo leve y transitorio. El consumo de cantidades excesivas de alcohol o la exposición a ciertos fármacos también puede producir vértigo al cambiar la composición de la endolinfa o alterar las células pilosas del oído interno.

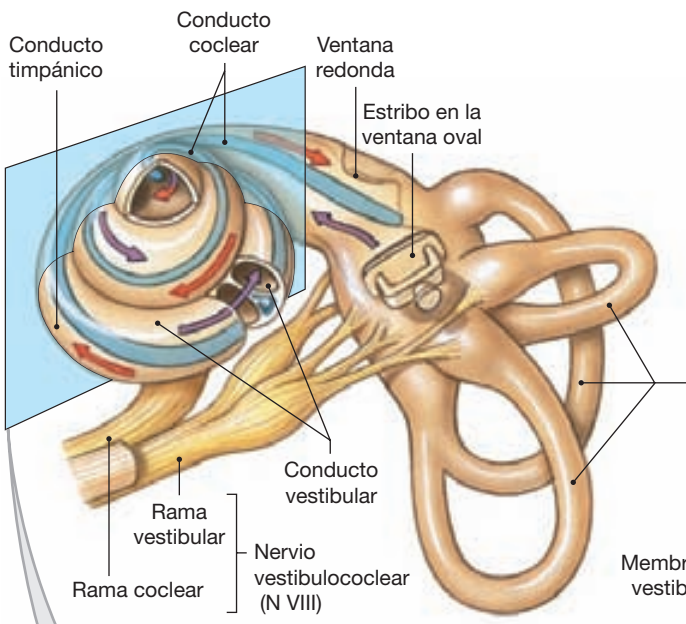
Otras causas de vértigo incluyen la infección vírica del nervio vestibular y la lesión del núcleo vestibular o sus tractos. El vértigo agudo también puede derivar de una lesión causada por una producción anormal de endolinfa, como en la enfermedad de Ménière. Probablemente, la causa más frecuente de vértigo sea la *cinetosis* (*mal de movimiento*).

Los extraordinariamente desagradables signos y síntomas de la **cinetosis** incluyen cefalea, sudoración, rubor facial, náuseas, vómitos y diferentes cambios de la perspectiva mental (Las personas que la padecen pueden presentar desde un estado de aturdimiento con excitación hasta casi una desesperación suicida en cuestión de momentos.) Es posible que el trastorno se produzca cuando las áreas de procesamiento central, como el techo del mesencéfalo, reciben información visual y del equilibrio conflictiva. No se sabe por qué esta comunicación conflictiva da lugar a náuseas, vómitos y otros síntomas. Los que se sientan bajo cubierta en un barco en movimiento o que van leyendo en un coche tienden a proporcionar las condiciones necesarias. Los ojos comunican que la posición en el espacio no cambia, pero los conductos semicirculares comunican que el cuerpo está tambaleándose y girando. Para contrarrestar este efecto, los marineros que se marean miran el horizonte en lugar de su alrededor inmediato, de modo que sus ojos proporcionen una confirmación visual de los movimientos detectados por su oído interno. No se sabe por qué algunos individuos son casi inmunes a la cinetosis, mientras que otros encuentran casi imposible viajar en barco o en coche.

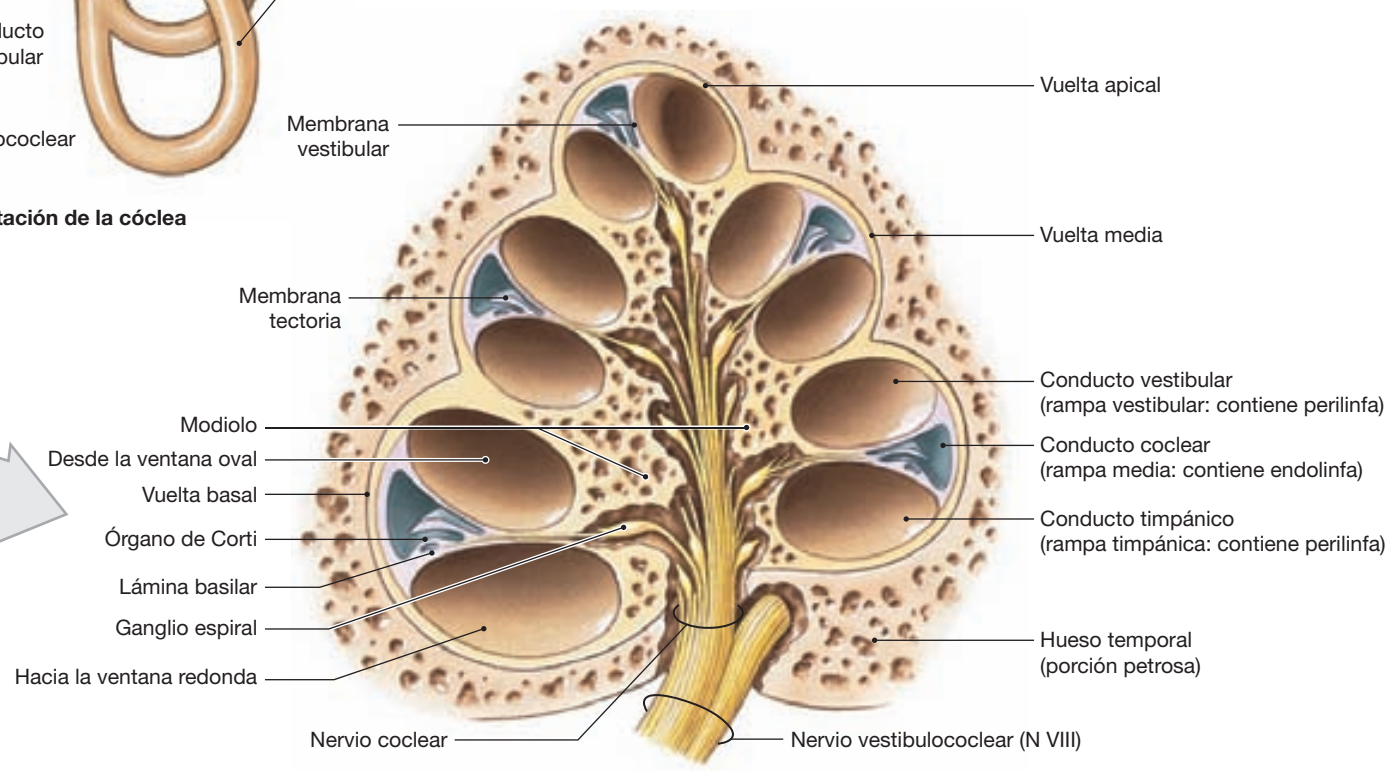
Los fármacos que se administran frecuentemente para prevenir la cinetosis incluyen dimenhidrinato, escopolamina y prometazina. Estos compuestos parecen deprimir la actividad en los núcleos vestibulares. Los sedantes, como la proclorperazina, también pueden ser eficaces. La escopolamina puede administrarse a través de la superficie cutánea utilizando un parche adhesivo.

En la **enfermedad de Ménière,** la distorsión del laberinto membranoso del oído interno por presiones líquidas elevadas puede romper la pared membranosa y mezclar la endolinfa y la perilinfa. Entonces los receptores del vestíbulo y los conductos semicirculares se estimulan en exceso. El individuo puede ser incapaz de comenzar un movimiento voluntario (p.ej., caminar) porque experimenta una intensa sensación de giro u ondulación. Además del vértigo, la persona puede «oír» sonidos inusuales cuando se activan los receptores cocleares.

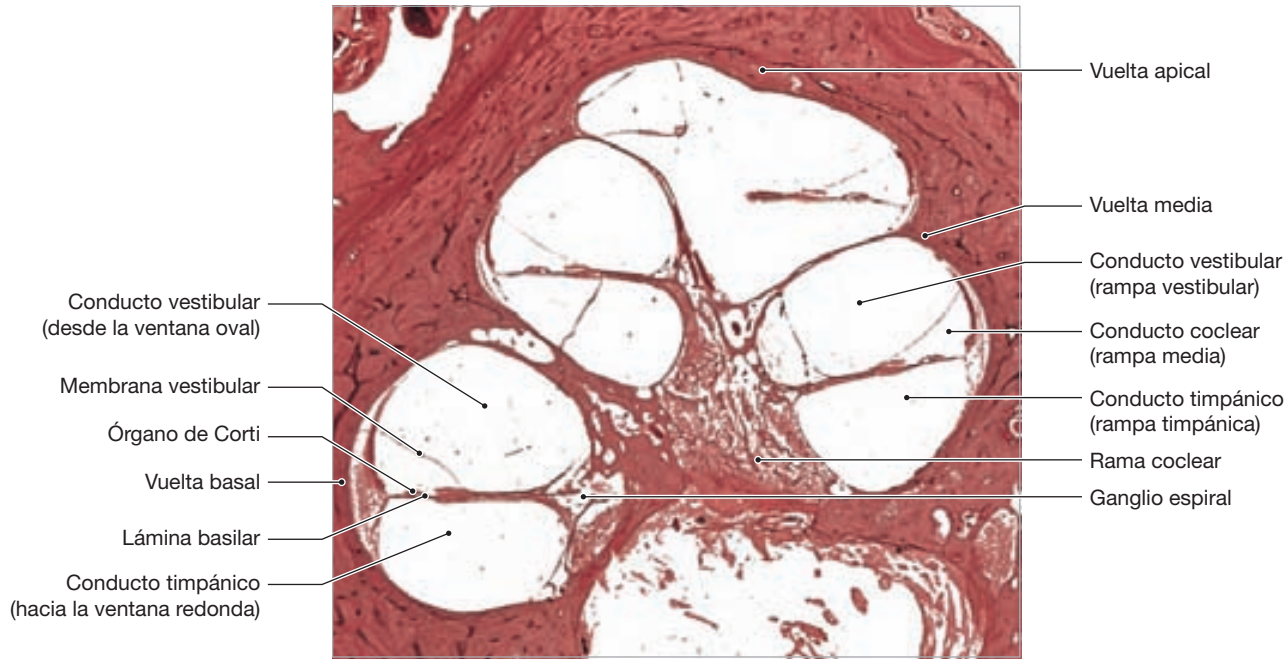
Figura 18.17 Cóclea y órgano de Corti
(a) Estructura de la cóclea en una sección parcial. **(b)** Estructura de la cóclea en el hueso temporal como se observa en una sección, mostrando las vueltas del conducto vestibular, el conducto coclear y el conducto timpánico. **(c)** Histología de la cóclea que muestra muchas de las estructuras de la parte (b).



(a) Estructura y orientación de la cóclea



(b) Sección coclear, esquemática



(c) Sección coclear, microfotografía

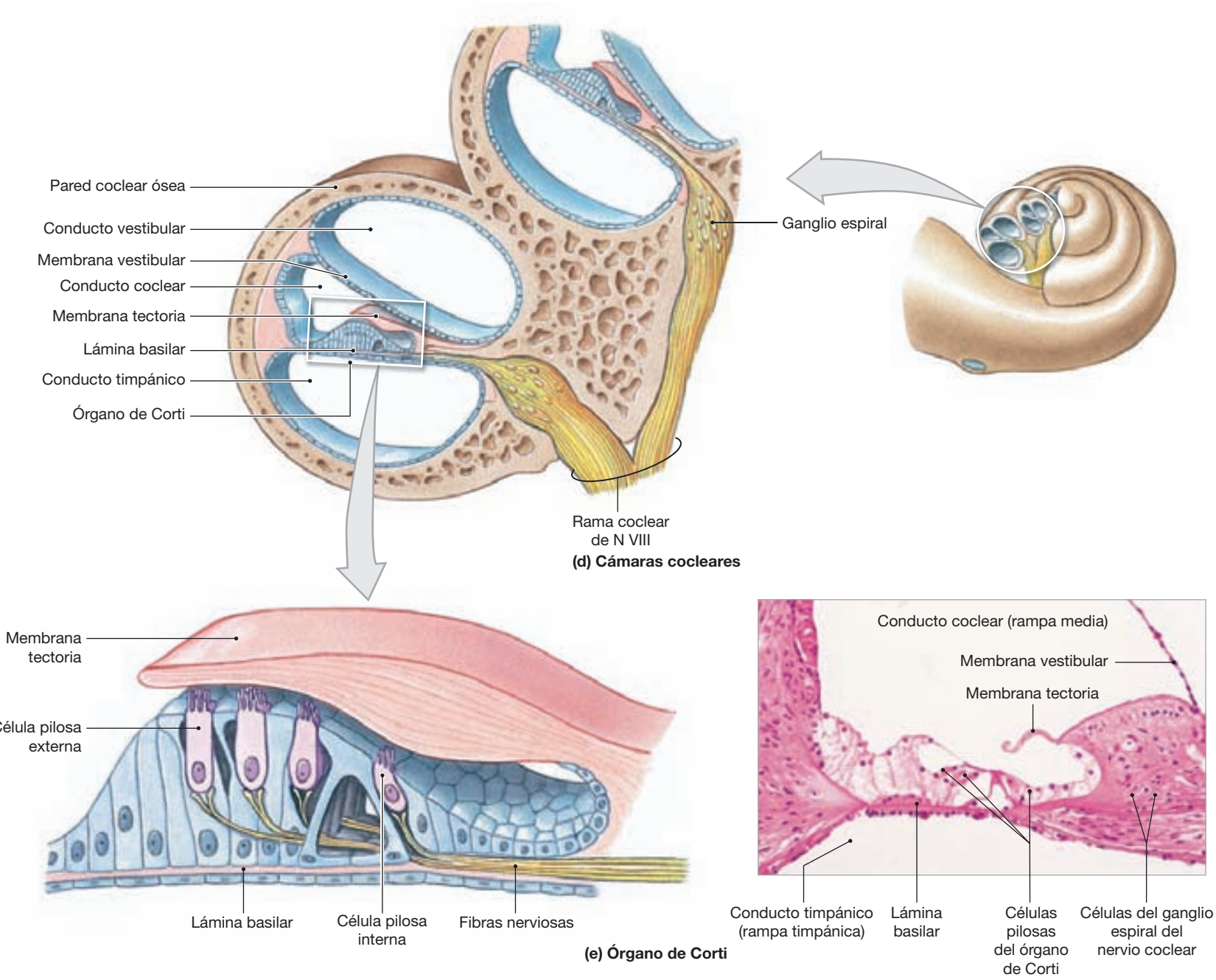


Figura 18.17 ***(cont.)***
(d) Sección tridimensional que muestra en detalle las cámaras cocleares, la membrana tectoria y el órgano de Corti. **(e)** Sección esquemática e histológica a través del complejo receptor de las células pilosas del órgano de Corti (MO × 2.022). **(f)** MEB realzada en color que muestra una porción de la superficie receptora del órgano de Corti.

timpánico *(rampa timpánica)*. Las dos cámaras perilinfáticas están interconectadas en la parte superior de la espiral coclear. La ventana oval está en la base del conducto vestibular, y la ventana redonda está en la base del conducto timpánico.

Órgano de Corti [v. figura 18.17b-e] Las células pilosas del conducto coclear se encuentran en el **órgano de Corti,** u **órgano espiral** (v. figura 18.17b-e). Esta estructura sensorial descansa sobre la **lámina basilar** que separa el conducto coclear del conducto timpánico. Las células pilosas están dispuestas en filas longitudinales interna y externa. Estas células pilosas carecen de quinocilios, y sus estereocilios están en contacto con la **membrana tectoria** (*tectum*, techo) suprayacente. Esta membrana está firmemente unida a la pared interna del conducto coclear. Cuando una porción de la lámina basilar rebota arriba y abajo, los estereocilios de las células pilosas se distorsionan.

Detección del sonido [v. tabla 18.2]

La audición es la detección del sonido, que consiste en ondas de presión transmitidas a través del aire o el agua. Las ondas sonoras entran por el conducto auditivo externo y viajan a través del tímpano. El tímpano proporciona la superficie para la recogida del sonido, y vibra en respuesta a ondas sonoras de frecuencia aproximadamente entre 20 y 20.000 Hz; estos son los límites en un niño pequeño, pero con la edad los límites disminuyen. Como se mencionó anteriormente, los huesecillos del oído transfieren estas vibraciones de forma modificada a la ventana oval.

El movimiento del estribo en la ventana oval ejerce una presión en la perilinfa del conducto vestibular. Una propiedad de los líquidos es su incapacidad para ser comprimidos. Por ejemplo, cuando te sientas en una cama de agua, sabes que cuando empujas hacia abajo *aquí*, la cama de agua se abulta *allí*. Puesto que el resto de la cóclea está envuelto por hueso, la presión aplicada en la ventana oval sólo puede liberarse en la ventana redonda. Cuando la base del estribo se mueve hacia el interior en la ventana oval, la membrana que se extiende sobre la ventana redonda sobresale hacia fuera.

El movimiento del estribo transmite las ondas de presión a la perilinfa. Estas ondas distorsionan el conducto coclear y el órgano de Corti, estimulando las células pilosas. La localización de la estimulación máxima varía dependiendo de la frecuencia (tono) del sonido. Los sonidos de alta frecuencia afectan a la lámina basilar cerca de la ventana oval; cuanto más baja sea la frecuencia del sonido, más lejos de la ventana oval se producirá la distorsión.

Nota clínica

Pérdida auditiva La **hipoacusia de conducción** deriva de trastornos en el oído medio que bloquean la transferencia normal de la vibración de la membrana timpánica hasta la ventana oval. Un conducto auditivo externo taponado por cera acumulada o por agua atrapada puede producir una pérdida auditiva transitoria. La cicatrización o perforación del tímpano, el líquido en la cámara del oído medio y la inmovilización de uno o más de los huesecillos del oído son ejemplos más serios de hipoacusia de conducción.

En la **hipoacusia nerviosa** el problema se encuentra en la cóclea o en algún lugar a lo largo de la vía auditiva. Las vibraciones alcanzan la ventana oval, pero los receptores no pueden responder o bien su respuesta no puede alcanzar sus destinos centrales. Asimismo, ciertos fármacos que entran en la endolinfa pueden matar los receptores, y las infecciones pueden dañar las células pilosas o afectar al nervio coclear. Las células pilosas también pueden lesionarse por la exposición a altas dosis de antibióticos aminoglucósidos, como neomicina o gentamicina; este potencial efecto secundario debe sopesarse con la gravedad de la infección antes de prescribir estos fármacos.

TABLA 18.2 Pasos en la producción de una sensación auditiva

1. Las ondas sonoras llegan a la membrana timpánica.
2. El movimiento de la membrana timpánica causa un desplazamiento de los huesecillos del oído.
3. El movimiento del estribo en la ventana oval establece ondas de presión en la perilinfa del conducto vestibular.
4. Las ondas de presión distorsionan la lámina basilar en su camina hacia la ventana redonda del conducto timpánico.
5. La vibración de la lámina basilar causa vibración de las células pilosas contra la membrana tectoria, dando lugar a la estimulación de la célula pilosa y la liberación de neurotransmisor.
6. La información relacionada con la región y la intensidad de la estimulación es transmitida al SNC en la rama coclear de N VIII.

La cantidad real de movimiento en una localización dada depende de la cantidad de fuerza que se ejerce sobre la ventana oval. Esta relación proporciona un mecanismo para detectar la intensidad (volumen) del sonido. Los sonidos de intensidad muy elevada pueden producir pérdidas auditivas al desprender los estereocilios de la superficie de las células pilosas. La contracción refleja del tensor del tímpano y del estapedio en respuesta a un ruido peligrosamente intenso se produce en menos de 0,1 segundos, pero esto puede no ser lo suficientemente rápido para evitar la lesión y la pérdida auditiva relacionada. La tabla 18.2 resume los pasos implicados en la traducción de una onda sonora en una sensación auditiva.

Vías auditivas [v. figura 18.18]

La estimulación de la célula pilosa activa las neuronas sensitivas cuyos cuerpos celulares están en el ganglio espiral adyacente. Sus fibras aferentes forman la **rama coclear** del nervio vestibulococlear (N VIII). Estos axones entran en el bulbo raquídeo y hacen sinapsis en el **núcleo coclear** del mismo lado del encéfalo. Los axones de las neuronas de segundo orden cruzan al lado opuesto del encéfalo y ascienden hasta el colículo inferior del cerebro medio (v. figura 18.18). Este centro de procesamiento coordina una serie de respuestas a los estímulos acústicos, incluyendo reflejos auditivos que incluyen los músculos estriados de la cabeza, la cara y el tronco. Estos reflejos cambian automáticamente la posición de la cabeza en respuesta a un ruido intenso súbito.

Antes de alcanzar la corteza cerebral y nuestra percepción consciente, la sensibilidad auditiva ascendente hace sinapsis en el tálamo. Después las fibras de proyección transmiten la información a la corteza auditiva del lóbulo temporal. En efecto, la corteza auditiva contiene un mapa del órgano de Corti. Los sonidos de alta frecuencia activan una porción de la corteza, y los sonidos de baja frecuencia influyen en otra. Si se lesiona la corteza auditiva, el individuo responderá a los sonidos y tendrá reflejos auditivos normales, pero la interpretación del sonido y el reconocimiento de su pauta serán difíciles o imposibles. La lesión del área de asociación adyacente no afecta a la capacidad para detectar los tonos y las pautas, pero produce una incapacidad para comprender su significado.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si la membrana que se extiende sobre la ventana redonda no fuera capaz de protruir al aumentar la presión de la perilinfa, ¿cómo se afectaría la percepción del sonido?
2. ¿Cómo afectaría a la audición la pérdida de estereocilios de las células pilosas del órgano de Corti?
3. Distinga entre el conducto coclear y timpánico.
4. ¿Qué estructura estimula las células pilosas del órgano de Corti?

Véase «Respuestas» al final del libro.

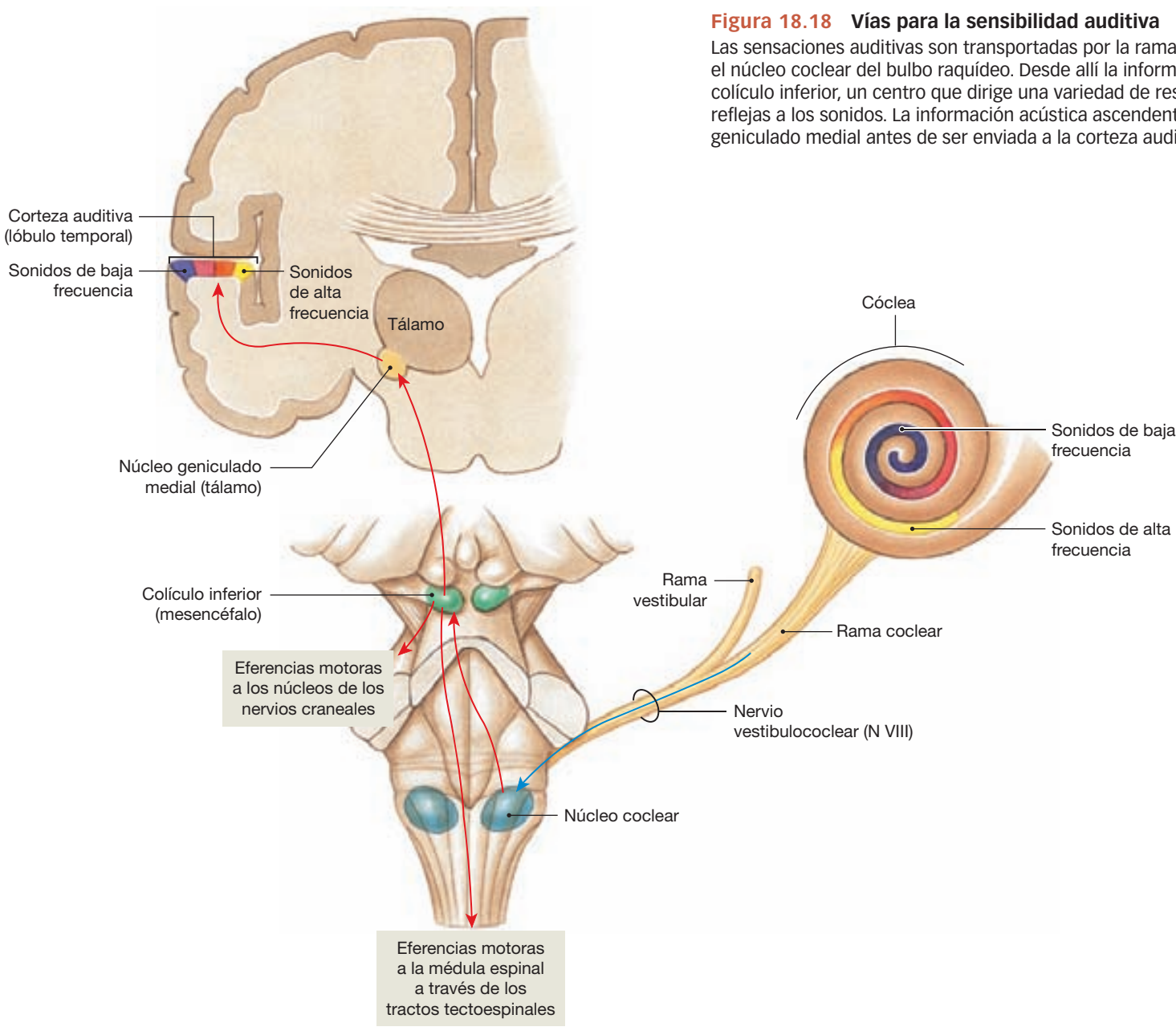

Corteza auditiva (lóbulo temporal)
Sonidos de baja frecuencia
Sonidos de alta frecuencia
Tálamo
Núcleo geniculado medial (tálamo)
Cóclea
Sonidos de baja frecuencia
Sonidos de alta frecuencia
Rama vestibular
Rama coclear
Colículo inferior (mesencéfalo)
Eferencias motoras a los núcleos de los nervios craneales
Nervio vestibulococlear (N VIII)
Núcleo coclear
Eferencias motoras a la médula espinal a través de los tractos tectoespinales

Figura 18.18 Vías para la sensibilidad auditiva
Las sensaciones auditivas son transportadas por la rama coclear de N VIII hasta el núcleo coclear del bulbo raquídeo. Desde allí la información se transmite al colículo inferior, un centro que dirige una variedad de respuestas motoras reflejas a los sonidos. La información acústica ascendente va al núcleo geniculado medial antes de ser enviada a la corteza auditiva del lóbulo temporal.

Visión [v. figura 18.19]

Los seres humanos se basan en la visión más que en cualquier otro sentido especial, y la corteza visual es varias veces más grande que las áreas corticales destinadas a otros sentidos especiales. Nuestros receptores visuales están contenidos en estructuras elaboradas, los ojos, que nos permiten no sólo detectar la luz sino crear imágenes visuales detalladas. Comenzaremos comentando las *estructuras accesorias* del ojo que proporcionan protección, lubricación y sostén. La anatomía superficial del ojo y las principales estructuras accesorias se ilustran en la figura 18.19.

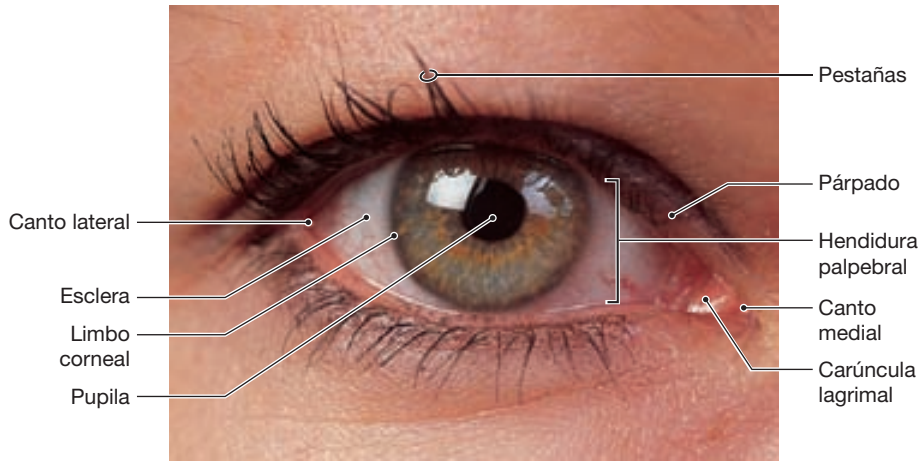
Estructuras accesorias del ojo

Las **estructuras accesorias** del ojo incluyen los párpados, el epitelio superficial del ojo, y las estructuras asociadas a la producción, secreción y eliminación de las lágrimas.

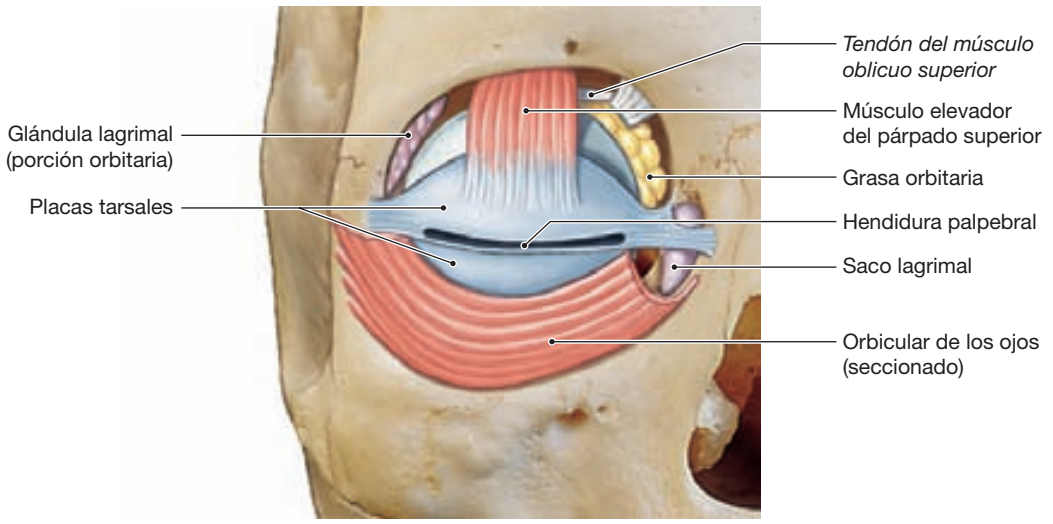
Párpados [v. figuras 18.19/18.20/18.21b,e]

Los **párpados** son una continuación de la piel. Los párpados actúan como limpiaparabrisas; sus movimientos continuos de parpadeo mantienen la superficie lubricada y libre de polvo y detritos. También pueden cerrarse firmemente para proteger la delicada superficie del ojo. Los márgenes libres del párpado superior e inferior están separados por la **hendidura palpebral,** pero los dos están conectados en el **canto medial** y el **canto lateral** (v. figura 18.19). Las **pestañas** a lo largo de los bordes palpebrales son pelos muy robustos. Cada una de las pestañas está controlada por un plexo de la raíz del pelo, y el desplazamiento del pelo desencadena un reflejo de parpadeo. Esta respuesta ayuda a prevenir que los cuerpos extraños y los insectos alcancen la superficie del ojo.

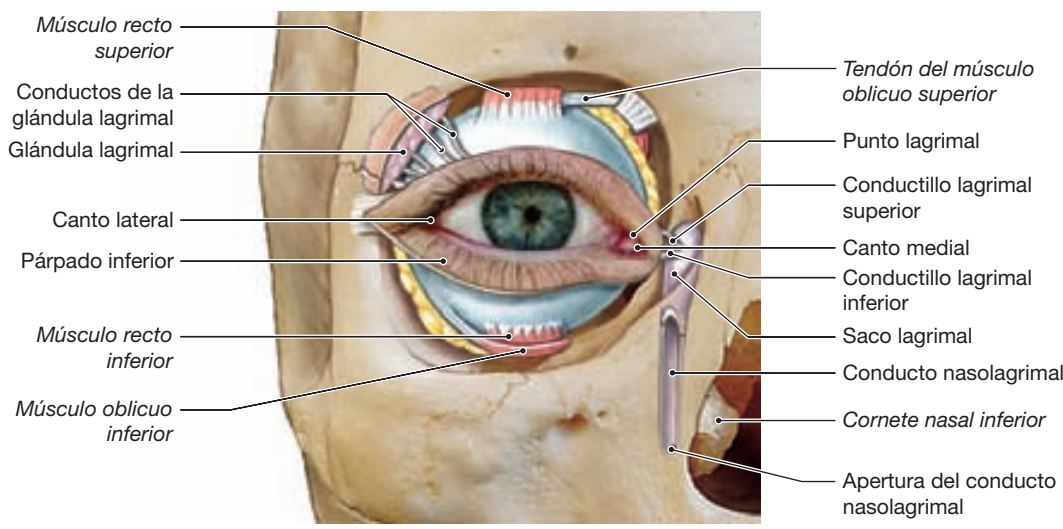
Las pestañas están asociadas a grandes glándulas sebáceas, las *glándulas de Zeis*. Las **glándulas tarsales,** o *glándulas de Meibomio*, a lo largo del borde interno del párpado, secretan un producto rico en lípidos que ayuda a evitar que los párpados se peguen entre sí. En el canto medial, las glándulas en la **carúncula lagrimal** (v. figura 18.19a) producen las secreciones densas que contribuyen a los depósitos arenosos que se encuentran ocasionalmente después del sueño nocturno. Estas diferentes glándulas están sometidas a invasión e infección ocasional por bacterias. La infección de una glándula tarsal generalmente produce un quiste o *calacio* («pequeño bulto»). Una infección de una glándula sebácea de una pestaña, una glándula tarsal o una de las muchas glándulas sudoríparas que se abren a la superficie entre los folículos de las pestañas produce una tumefacción localizada dolorosa conocida como un *orzuelo*.



(a) Ojo derecho, estructuras accesorias



(b) Disección superficial de la órbita derecha



(c) Disección profunda de la órbita derecha

Figura 18.19 Estructuras accesorias del ojo, parte I

(a) Anatomía superficial del ojo derecho y sus estructuras accesorias. **(b)** Representación esquemática de una disección superficial de la órbita derecha. **(c)** Representación esquemática de una disección más profunda del ojo derecho que muestra su posición en la órbita y su relación con las estructuras accesorias, especialmente con el aparato lagrimal.

La superficie visible del párpado está cubierta por una fina capa de epitelio escamoso estratificado. Profundamente a la capa subcutánea, los párpados están sostenidos y reforzados por amplias bandas de tejido conjuntivo, denominadas en conjunto la **placa tarsal** (v. figura 18.19b). Las fibras musculares del *músculo orbicular de los ojos* y del *músculo elevador del párpado superior* (v. figuras 18.19b y 18.20) se sitúan entre la placa tarsal y la piel. Estos músculos estriados son responsables del cierre de los párpados (orbicular de los ojos) y de la elevación del párpado superior (elevador del párpado superior) [p. 266].

El epitelio que cubre la superficie interna de los párpados y la superficie externa del ojo se denomina la **conjuntiva** («que une» o «que conecta») (v. figura 18.21b,e). Es una membrana mucosa cubierta por un epitelio escamoso estratificado especializado. La **conjuntiva palpebral** cubre la superficie interna de los párpados, y la **conjuntiva ocular,** o **conjuntiva bulbar,** cubre la superficie anterior del ojo. Una aportación continua de líquido lava la superficie del globo ocular, manteniendo la conjuntiva húmeda y limpia. Las células caliciformes del epitelio colaboran con las diferentes glándulas accesorias al proporcionar un lubricante superficial que evita la fricción y el secado de las superficies conjuntivales opuestas.

Sobre la **córnea** transparente del ojo, el epitelio estratificado relativamente grueso se transforma en un epitelio escamoso muy fino y delicado de 5-7 células de grosor. Cerca de los bordes de los párpados, la conjuntiva desarrolla un epitelio escamoso estratificado más robusto característico de las superficies corporales expuestas. Aunque no existen receptores sensitivos especializados que controlen la superficie del ojo, existen abundantes terminaciones nerviosas libres con gran sensibilidad muy amplia.

Aparato lagrimal [v. figuras 18.19b,c/18.20]

Un flujo constante de lágrimas mantiene las superficies conjuntivales húmedas y limpias. Las lágrimas reducen la fricción, eliminan detritos, previenen la infección bacteriana y proporcionan nutrientes y oxígeno a las porciones del epitelio conjuntival. El **aparato lagrimal** produce, distribuye y elimina las lágrimas. El aparato lagrimal (v. figuras 18.19b,c y 18.20) de cada ojo consta de:

1. Una *glándula lagrimal.*
2. *Conductillos lagrimales superior* e *inferior.*
3. Un *saco lagrimal.*
4. Un *conducto nasolagrimal.*

El bolsillo creado donde la conjuntiva del párpado conecta con la del ojo se conoce como **fórnix.** La porción lateral del fórnix superior recibe 10-12 conductos de la **glándula lagrimal.** La glándula lagrimal tiene el tamaño y la forma aproximados de una almendra, midiendo unos 12-20 mm. Está enclavada en una depresión en el hueso frontal, en la órbita y lateral al globo ocular (v. figura 18.20) [p. 151].

La glándula lagrimal normalmente proporciona los ingredientes clave y la mayor parte del volumen de las lágrimas que bañan las superficies conjuntivales. Sus secreciones son acuosas y ligeramente alcalinas y contienen la enzima **lisozima,** que ataca los microorganismos.

La glándula lagrimal produce lágrimas a una velocidad de alrededor de 1 mL/día. Una vez que las secreciones lagrimales han alcanzado la superficie ocular, se mezclan con los productos de las glándulas accesorias y las secreciones oleosas de las glándulas tarsales y las glándulas de Zeis. La contribución de las últimas

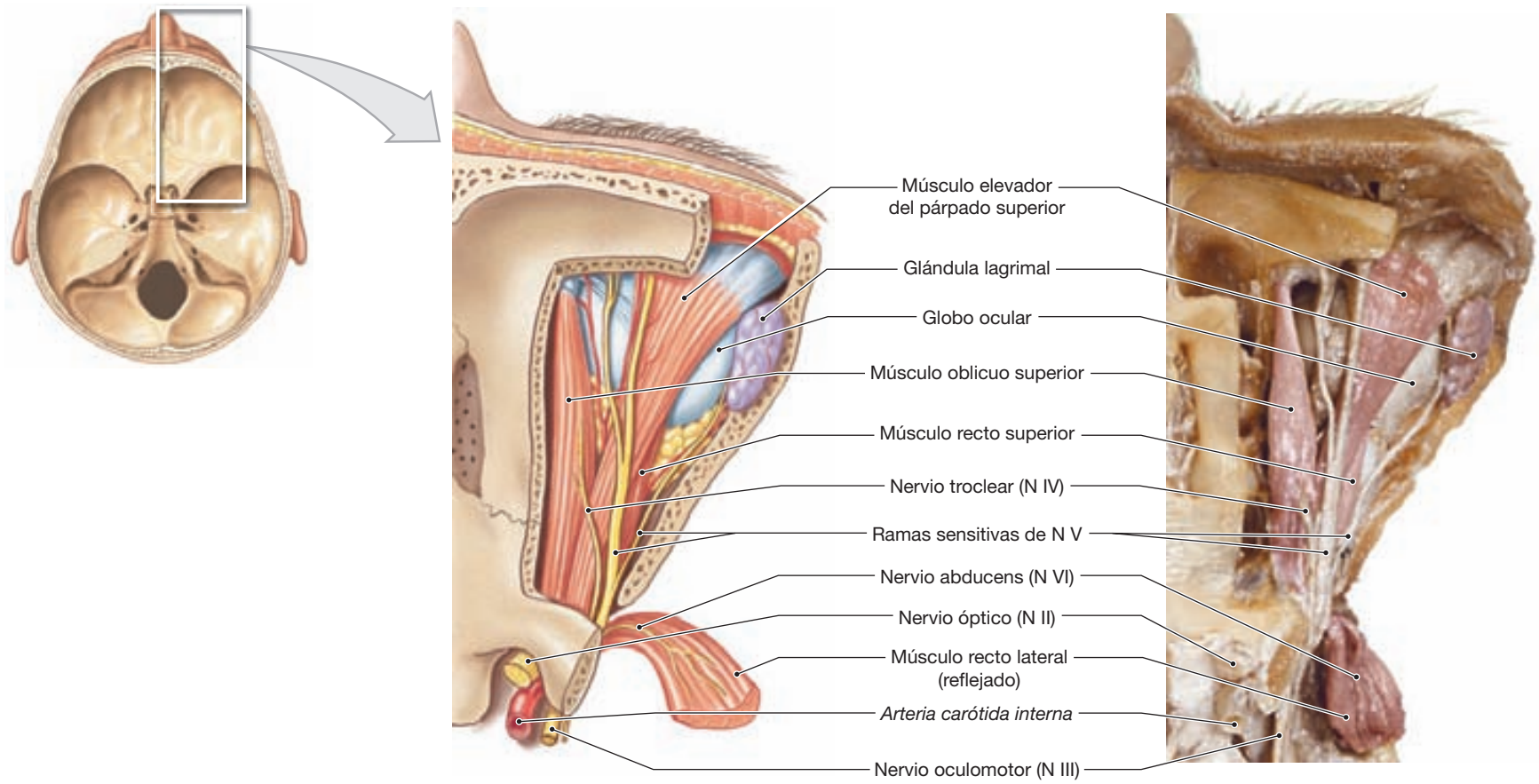


Figura 18.20 Estructuras accesorias del ojo, parte II
Vista superior de las estructuras de la órbita derecha.

produce una «marea negra» superficial que ayuda a la lubricación hace que la evaporación sea más lenta.

El parpadeo del ojo arrastra las lágrimas a través de la superficie ocular, y se acumulan en el canto medial en un área conocida como *lago lagrimal*. Dos pequeños poros, los **puntos lagrimales superior** e **inferior,** drenan el lago lagrimal vaciándolo en los **conductillos lagrimales** que circulan a lo largo de surcos en la superficie del hueso lagrimal. Estos conductos llevan hasta el **saco lagrimal,** que llena el surco lagrimal del hueso lagrimal. Desde allí, el **conducto nasolagrimal** se extiende a lo largo del canal nasolagrimal formado por el hueso lagrimal y el maxilar para llevar las lágrimas hasta el meato inferior de ese lado de la cavidad nasal [p. 151].

El bloqueo de los puntos lagrimales o el exceso de secreción de las glándulas lagrimales pueden producir unos «ojos llorosos», que están desbordándose constantemente. La producción inadecuada de lágrimas, un trastorno más frecuente, produce los «ojos secos». Las «lágrimas artificiales» lubricantes en forma de gotas oculares son la respuesta habitual, pero los casos más serios pueden tratarse quirúrgicamente cerrando los puntos lagrimales.

El ojo [v. figuras 18.20/18.21a,e,f]

Los ojos son esferas ligeramente irregulares con un diámetro medio de 24 mm, ligeramente más pequeños que una pelota de ping-pong. Cada ojo pesa alrededor de 8 g. El globo ocular comparte espacio en la órbita con los músculos extraoculares, la glándula lagrimal y los nervios craneales y vasos sanguíneos que se dirigen al ojo y las porciones adyacentes de la órbita y la cara (**v. figuras 18.20** y **18.21e,f**). Una masa de **grasa orbitaria** proporciona almohadillado y aislamiento.

La pared del ojo contiene tres capas diferenciadas, o túnicas (**v. figura 18.21a**): una *túnica fibrosa* externa, una *túnica vascular* intermedia, y una *túnica nerviosa* interna. El globo ocular es hueco y el interior se divide en dos *cavidades*. La gran **cavidad posterior** se denomina también *cámara vítrea*, porque contiene el *cuerpo vítreo* gelatinoso. La **cavidad anterior** más pequeña se subdivide en dos cámaras, *anterior* y *posterior*. La forma del ojo está estabilizada en parte por el cuerpo vítreo y el *humor acuoso* claro que llena la cavidad anterior.

Túnica fibrosa [v. figuras 18.20/18.21a,b,d,e]

La **túnica fibrosa,** la capa más externa del ojo, consta de la *esclera* y la *córnea* (**v. figura 18.21a,b,d,e**). La túnica fibrosa: 1) proporciona soporte mecánico y cierto grado de protección física; 2) sirve como lugar de fijación para los músculos extraoculares, y 3) contiene estructuras que ayudan al proceso de enfocar las imágenes.

La mayor parte de la superficie ocular está cubierta por la **esclera.** La esclera, o «blanco del ojo», consta de un tejido conjuntivo fibroso denso que contiene fibras de colágeno y elásticas. Esta capa es más gruesa en la porción posterior del ojo, cerca de la salida del nervio óptico, y más fina en la superficie anterior. Los seis músculos extraoculares se insertan en la esclera, y las fibras de colágeno de sus tendones están entremezcladas con las fibras de colágeno de la túnica externa (**v. figura 18.20**).

La superficie anterior de la esclera contiene una serie de pequeños vasos sanguíneos y de nervios que penetran en la esclera para alcanzar las estructuras internas. La red de pequeños vasos que se sitúan profundamente en la conjuntiva ocular no lleva, en general, sangre suficiente para prestar un color obvio a la esclera, pero sí que es visible a la inspección cercana en forma de líneas rojas frente al fondo blanco de las fibras de colágeno. La córnea transparente del ojo es parte de la túnica fibrosa y se continúa con la esclera. La superficie corneal está cubierta por un epitelio escamoso estratificado fino que se continúa con la conjuntiva ocular. En el fondo de ese epitelio, la córnea consta fundamentalmente de una matriz de consis-

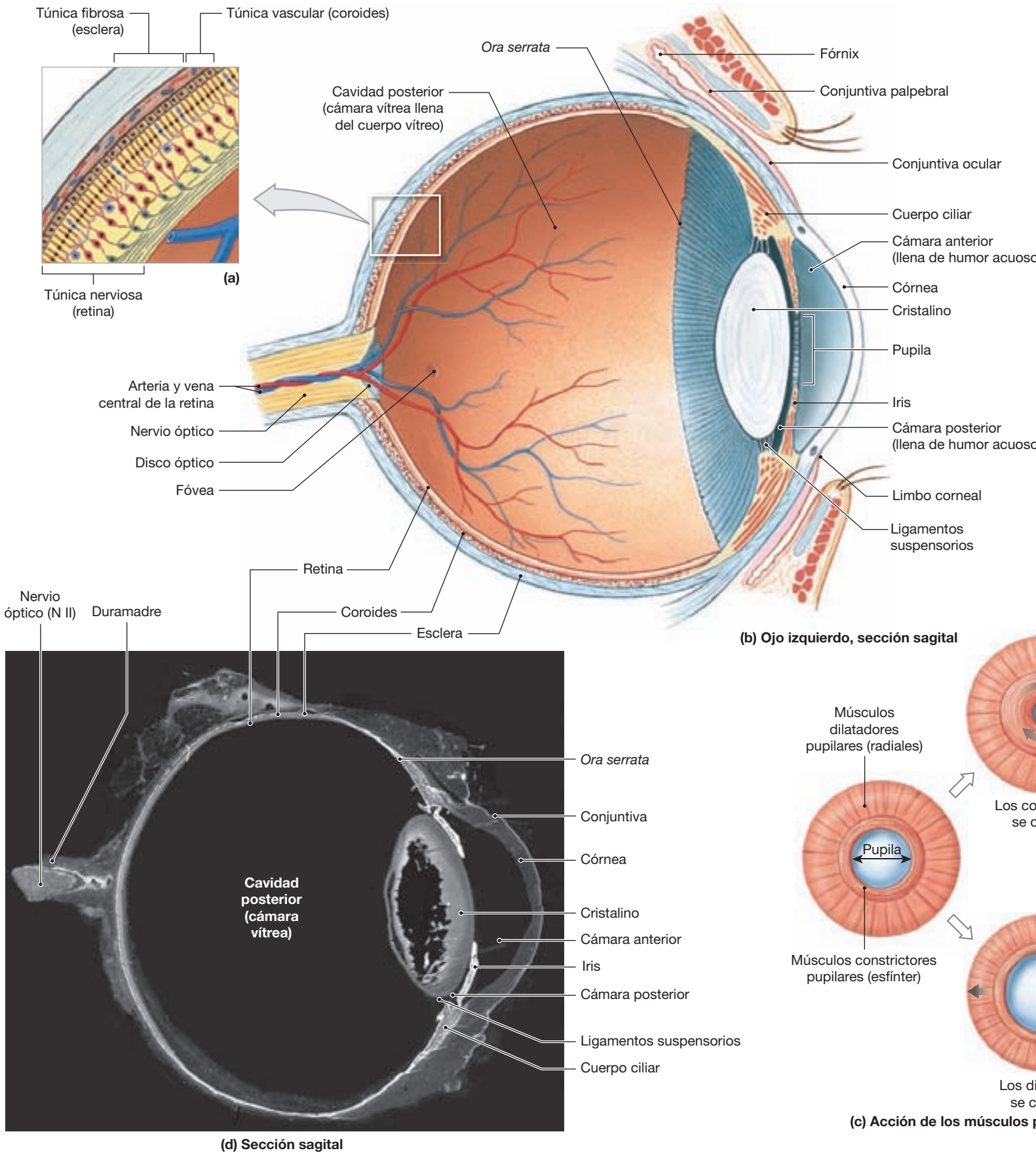
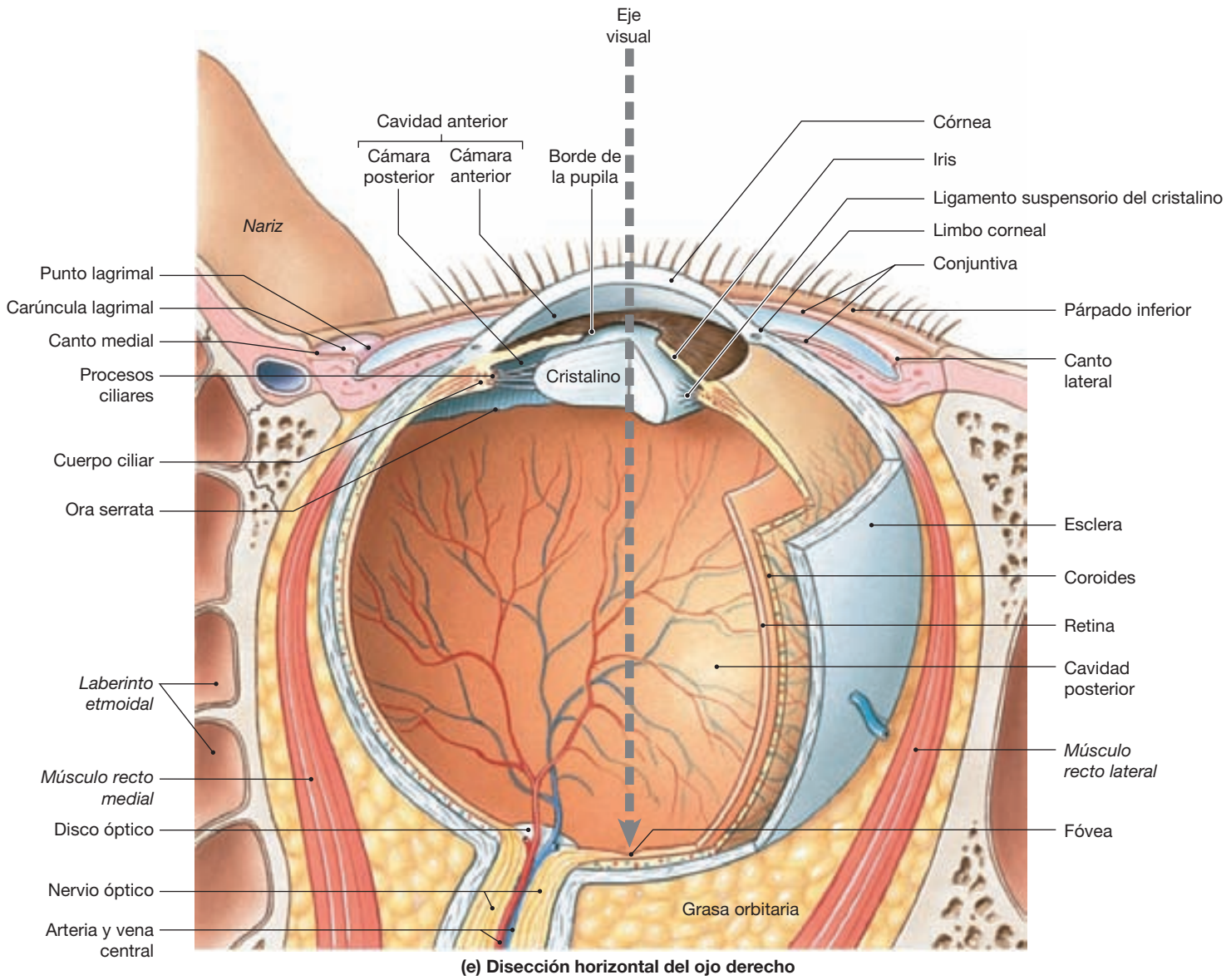
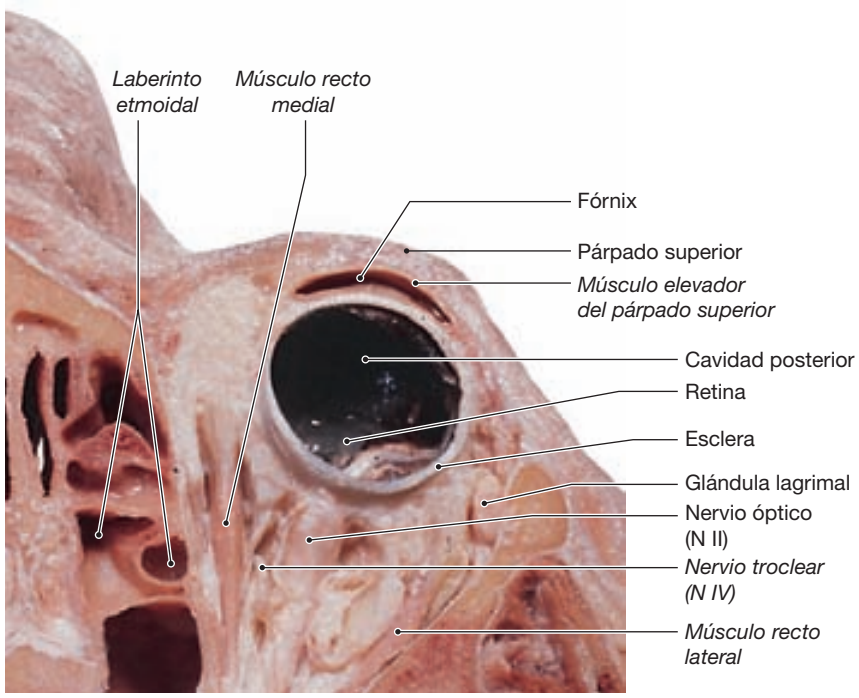


Figura 18.21 Anatomía seccional del ojo

(a) Las tres capas, o *túnicas*, del ojo. **(b)** Referencias anatómicas y características principales en una vista esquemática del ojo izquierdo. **(c)** La acción de los músculos pupilares y los cambios en el diámetro pupilar. **(d)** Sección sagital a través del ojo. **(e)** Sección horizontal a través del ojo derecho. **(f)** Sección horizontal a través de la porción superior del ojo derecho y la órbita.



(e) Disección horizontal del ojo derecho



(f) Sección horizontal, vista superior

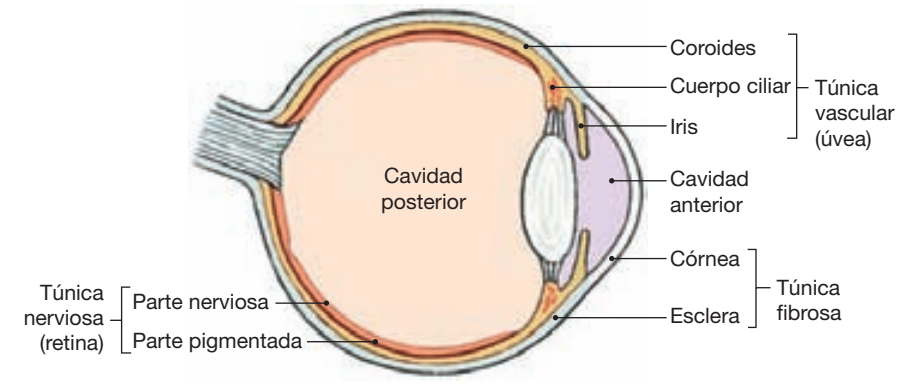
Figura 18.21 ***(cont.)***

tencia densa que contiene múltiples capas de fibras de colágeno. La transparencia de la córnea deriva de la alineación precisa de las fibras de colágeno en estas capas. Un epitelio escamoso simple separa la capa más interna de la córnea de la cámara anterior del ojo.

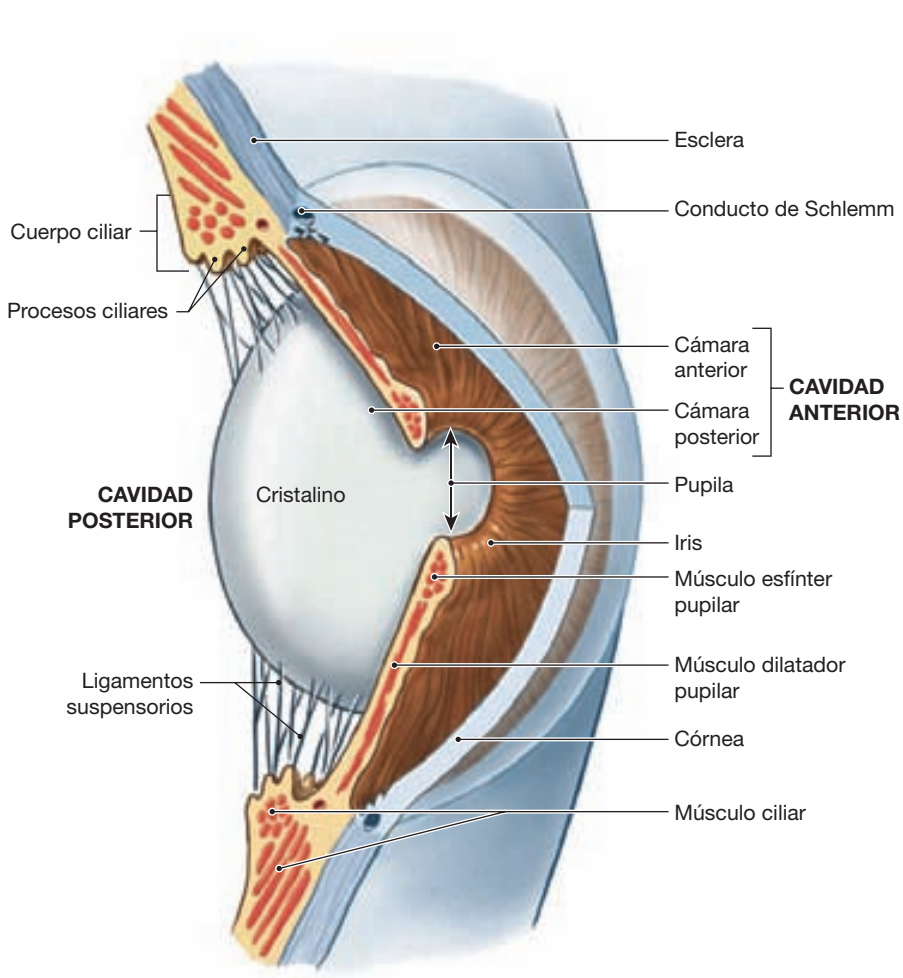
La córnea se continúa estructuralmente con la esclera; el **limbo corneal** es el límite entre ambas. La córnea es avascular, y no existen vasos sanguíneos entre la córnea y la conjuntiva suprayacente. Como consecuencia, las células epiteliales superficiales deben obtener el oxígeno y los nutrientes de las lágrimas que fluyen a través de sus superficies libres, mientras que la capa epitelial más interna recibe sus nutrientes del humor acuoso de la cámara anterior. En la córnea existen numerosas terminaciones nerviosas libres, y esta es la porción más sensible del ojo. Esta sensibilidad es importante porque la lesión corneal causará ceguera incluso aunque el resto del ojo –fotorreceptores incluidos– sea perfectamente normal.

Túnica vascular [v. figuras 18.21a,b,d,e/18.22]

La **túnica vascular** contiene una gran cantidad de vasos sanguíneos, linfáticos y los músculos oculares intrínsecos. Las funciones de esta capa incluyen las que se describen a continuación: 1) proporcionar un camino para los vasos sanguíneos y linfáticos que van a los tejidos del ojo; 2) regular la cantidad de luz que se introduce en el ojo; 3) secretar y reabsorber el *humor acuoso* que circula por el interior del ojo, y 4) controlar la forma del cristalino, una parte esencial en el proceso de enfocar las imágenes. La túnica vascular incluye el *iris*, el *cuerpo ciliar* y la *coroides* (**v. figuras 18.21a,b,d,e** y **18.22**).



(a) Sección horizontal del ojo derecho



(b) Cavidades del ojo

Figura 18.22 Cristalino y cámaras del ojo
(a) El cristalino está suspendido entre la cavidad posterior y la cámara posterior de la cavidad anterior. **(b)** Su posición se mantiene por los ligamentos suspensorios que fijan el cristalino al cuerpo ciliar.

Nota clínica

Conjuntivitis La conjuntivitis, u «ojo rojo», se debe a una lesión e irritación de la superficie conjuntival. El síntoma más obvio resulta de la dilatación de los vasos sanguíneos profundos al epitelio conjuntival. El término *conjuntivitis* es más útil como descripción de un síntoma que como nombre de una enfermedad específica. Una gran variedad de patógenos, incluyendo bacterias, virus y hongos pueden causar conjuntivitis, y la irritación alérgica, química o física (incluyendo incluso actitudes mundanas como el llanto prolongado o pelar una cebolla) pueden producir una forma transitoria de la afectación.

La *conjuntivitis crónica*, o *tracoma*, deriva de una invasión bacteriana o vírica de la conjuntiva. Muchas de estas infecciones son muy contagiosas, y los casos graves pueden cicatrizar la superficie corneal y afectar a la visión. La bacteria más frecuentemente implicada es *Chlamydia trachomatis*. El tracoma es un problema relativamente frecuente en el suroeste de Norteamérica, en el norte de África y Oriente Medio. La enfermedad debe tratarse con antibióticos tópicos y sistémicos para prevenir la lesión corneal y la pérdida de visión.

Iris [v. figuras 18.21/18.22] El **iris** puede observarse a través de la superficie corneal transparente. El iris contiene vasos sanguíneos, células pigmentadas y dos capas de células musculares lisas que son parte de los *músculos oculares intrínsecos*. La contracción de estos músculos cambia el diámetro de la apertura central del iris, la **pupila.** Un grupo de fibras musculares lisas forma una serie de círculos concéntricos alrededor de la pupila (v. figura 18.21c). El diámetro de la pupila disminuye cuando estos **músculos esfínter pupilares** se contraen. Un segundo grupo de músculos lisos se extiende de forma radial desde el borde de la pupila. La contracción de estos **músculos dilatadores pupilares** aumenta de tamaño la pupila. Estos grupos musculares antagonistas están controlados por el sistema nervioso autónomo; la activación parasimpática causa constricción pupilar, y la activación simpática causa dilatación pupilar [p. 266].

El cuerpo del iris consta de un tejido conjuntivo cuya superficie posterior está cubierta por un epitelio que contiene células pigmentadas. Las células pigmentadas también están presentes en el tejido conjuntivo del iris y en el epitelio que cubre su superficie anterior. El color del ojo está determinado por la densidad y distribución de las células pigmentadas. Cuando no existen células pigmentadas en el cuerpo del iris, la luz pasa a través de él y rebota en la superficie interna del epitelio pigmentado. Entonces el ojo aparece azul. Los individuos con ojos grises, marrones y negros tienen más células pigmentadas, respectivamente, en el cuerpo y la superficie del iris.

Cuerpo ciliar [v. figuras 18.21b,d,e/18.22b] En su periferia el iris se fija en la porción anterior del cuerpo ciliar. El **cuerpo ciliar** comienza en la unión entre la córnea y la esclera y se extiende posteriormente hasta la ***ora serrata*** («boca serrada») (v. figuras 18.21b,d,e y 18.22b). La masa del cuerpo ciliar consta del **músculo ciliar,** un anillo muscular que se proyecta hacia el interior del ojo. El epitelio se divide en numerosos pliegues, denominados **procesos ciliares.** Los **ligamentos suspensorios,** o *fibras zonulares*, del cristalino se fijan en los extremos de estos procesos. Estas fibras de tejido conjuntivo sujetan el cristalino detrás del iris y centrado en la pupila. Como resultado, toda luz que pase a través de la pupila y se dirija hacia los fotorreceptores pasará a través del cristalino.

Coroides [v. figura 18.21] El oxígeno y los nutrientes se entregan en la porción externa de la retina mediante una extensa red capilar situada en la **coroides.** También contiene melanocitos diseminados, que son especialmente densos en la porción más externa de la coroides adyacente a la esclera (v. figura 18.21a,b,d,e). La porción más interna de la coroides se une a la capa externa de la retina.

Túnica nerviosa [v. figuras 18.21/18.23]

La **túnica nerviosa,** o **retina,** consta de dos capas diferentes, una **capa pigmentaria** externa y una **capa nerviosa** interna, llamada la **retina nerviosa,** que contiene los receptores visuales y las neuronas asociadas (v. figura 18.21 y 18.23). La capa pigmentaria absorbe la luz después de que esta pase a través de la retina y tiene importantes interacciones bioquímicas con los fotorreceptores retinianos. La retina nerviosa contiene: 1) los fotorreceptores que responden a la luz; 2) células de sostén y neuronas que llevan a cabo el procesamiento e

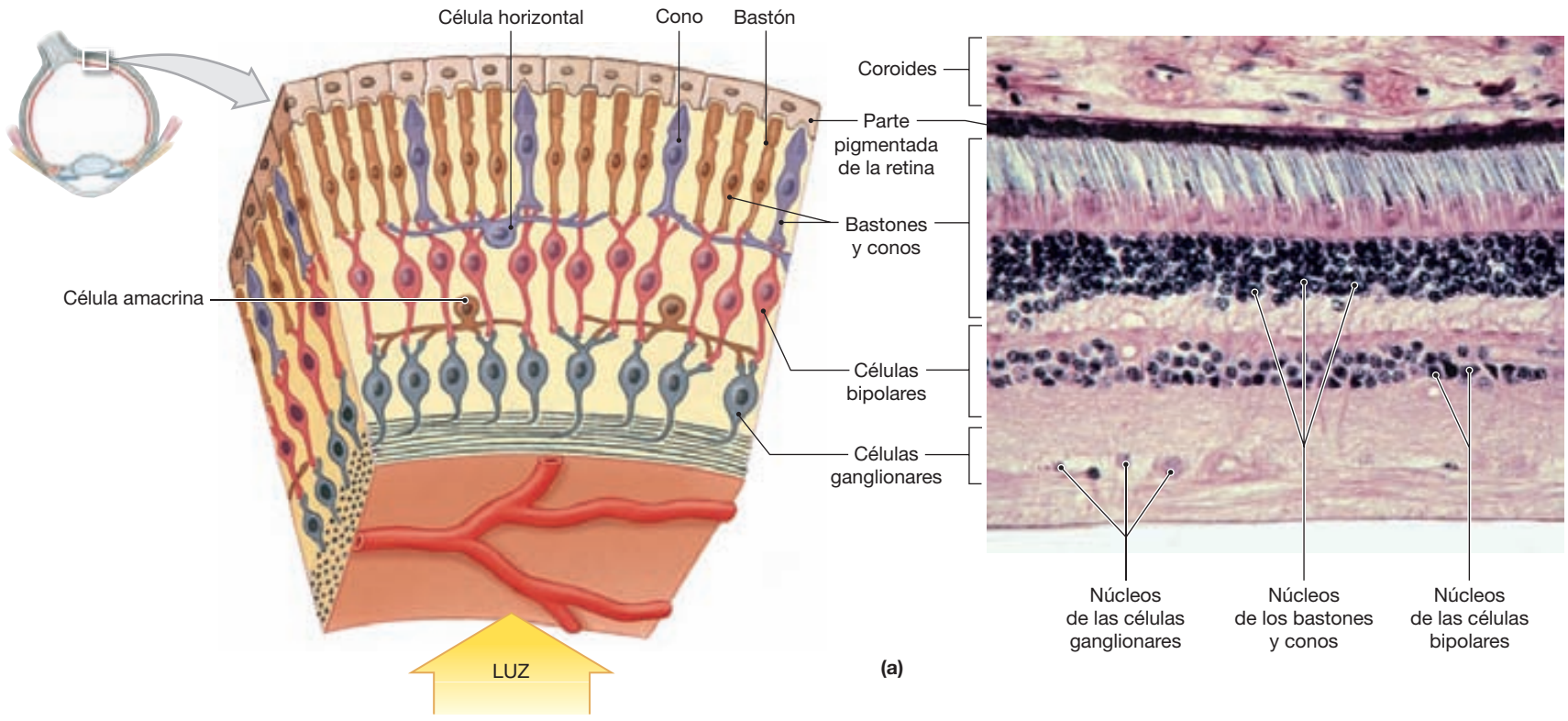


Figura 18.23 Organización retiniana
(a) Organización histológica de la retina. Obsérvese que los fotorreceptores están localizados más próximos a la coroides en lugar de cerca de la cámara vítrea (MO × 73). **(b)** Vista esquemática de la estructura precisa de los bastones y los conos, basada en los datos de la microscopia electrónica. **(c)** Fotografía tomada a través de la pupila del ojo, que muestra los vasos sanguíneos retinianos, el origen del nervio óptico y el disco óptico.

Nota clínica

Trasplantes corneales La córnea tiene una capacidad muy limitada de auto-reparación, por lo que las lesiones corneales deben tratarse inmediatamente para prevenir una pérdida de visión grave. Para restablecer la visión tras una cicatrización corneal generalmente es necesario reemplazar la córnea mediante un *trasplante corneal*. Los reemplazos corneales son probablemente la forma más frecuente de cirugía de trasplante. Pueden realizarse entre individuos no relacionados porque no existen vasos corneales, y es improbable que las células sanguíneas de la serie blanca que de otra forma rechazarían el injerto entren en la zona. Los tejidos corneales deben extraerse en las primeras 5 horas tras el fallecimiento del donante.

integración preliminares de la información visual, y 3) vasos sanguíneos que irrigan los tejidos que recubren la cavidad posterior.

La retina nerviosa y las capas pigmentarias están normalmente muy próximas entre sí, pero no estrechamente interconectadas. La capa pigmentaria continúa sobre el cuerpo ciliar y el iris, aunque la retina nerviosa se extiende anteriormente sólo hasta la ora serrata. La retina nerviosa forma por tanto una copa que establece los límites posterior y lateral de la cavidad posterior (v. figura 18.21b,d,e,f).

Organización retiniana [v. figuras 18.21b,e/18.23] En la retina existen aproximadamente 130 millones de fotorreceptores, cada uno de los cuales controla una localización específica de la superficie retiniana. Una imagen visual deriva del procesamiento de la información proporcionada por toda la población de receptores. En una vista en sección, la retina contiene varias capas de células (v. figura 18.23a,b). La capa más externa, la más cercana a la capa pigmentaria, contiene los receptores visuales. Existen dos tipos de **fotorreceptores: bastones** y **conos.** Los bastones no discriminan entre los diferentes colores de la luz. Son muy sensibles a la luz y nos permiten ver en habitaciones poco iluminadas, en penumbra, o a la luz de la luna. Los conos nos proporcionan la visión de los colores. Existen tres tipos de conos, y su estimulación en varias combinaciones nos proporciona la percepción de los diferentes colores. Los conos nos dan imágenes más definidas, más claras, pero requieren una luz más intensa que los bastones. Si te sientas en el exterior en una puesta de sol (o un amanecer), probablemente serás capaz de decir cuándo tu sistema visual se desplaza desde la visión basada en los conos (imágenes claras a todo color) hasta la visión basada en los bastones (imágenes relativamente borrosas en blanco y negro).

Los bastones y los conos no están repartidos uniformemente a través de la superficie externa de la retina. Aproximadamente 125 millones de bastones forman una banda amplia alrededor de la periferia de la retina. En la superficie retiniana posterior predomina la presencia de aproximadamente 6 millones de conos. La mayoría de estos se concentran en el área donde llega una imagen visual después de pasar a través de la córnea y el cristalino. En esta región que se conoce como **mácula lútea** («mancha amarilla») no existen bastones. La mayor concentración de conos se encuentra en la porción central de la mácula lútea, en la **fóvea** («depresión superficial»), o *fóvea central*. La fóvea es la zona de la visión más aguda; cuando miras directamente un objeto, su imagen cae sobre esta porción de la retina (v. figuras 18.21b,e y 18.23c).

Los bastones y los conos hacen sinapsis con cerca de 6 millones de **células bipolares** (v. figura 18.23a,b). La estimulación de los bastones y conos altera su velocidad de liberación de neurotransmisor, y esto a su vez altera la actividad de las células bipolares. Las **células horizontales** a este mismo nivel forman una red que inhibe o facilita la comunicación entre los receptores visuales y las células bipolares. Las células bipolares a su vez hacen sinapsis en la capa de **células ganglionares** que mira hacia la cámara vítrea. Las **células amacrinas** a este nivel modulan la comunicación entre las células bipolares y ganglionares. Las células ganglionares son las únicas células de la retina que generan potenciales de acción hacia el encéfalo.

Los axones de aproximadamente 1 millón de células ganglionares convergen en el **disco óptico,** penetran en la pared del ojo y avanzan hacia el diencéfalo formando el nervio óptico (N II) (v. figura 18.21b,e). La *arteria central de la retina* y la *vena central de la retina*, que irriga y drena la retina respectivamente, pasan a través del centro del nervio óptico y emergen en la superficie del disco óptico (v. figura 18.23c). En el disco óptico no existen fotorreceptores ni otras estructuras retinianas. Puesto que la luz que alcanza esta área pasa sin ser percibida, frecuentemente se denomina la **mancha ciega.** No se «aprecia» una mancha en blanco en el campo visual, porque los movimientos oculares involuntarios mantienen la imagen visual en movimiento y permiten que el encéfalo rellene la información perdida.

Cámaras del ojo

Las cámaras del ojo son la cámara *anterior*, *posterior* y *vítrea*. Las cámaras anterior y posterior están llenas de *humor acuoso*.

Humor acuoso [v. figura 18.24] El **humor acuoso** se forma continuamente a medida que los líquidos intersticiales pasan entre las células epiteliales de los procesos ciliares y entran en la cámara posterior (v. figura 18.24). Las células epiteliales parecen regular su composición, que recuerda la del líquido cefalorraquídeo. El humor acuoso circula de modo que, además de formar un almohadillado líquido, proporciona una vía importante para el transporte de nutrientes y desechos.

El humor acuoso vuelve a la circulación en la cámara anterior cerca del iris. Después de difundir a través del epitelio local, este humor acuoso entra en el **conducto de Schlemm,** o *seno venoso de la esclera*, que comunica con las venas del ojo.

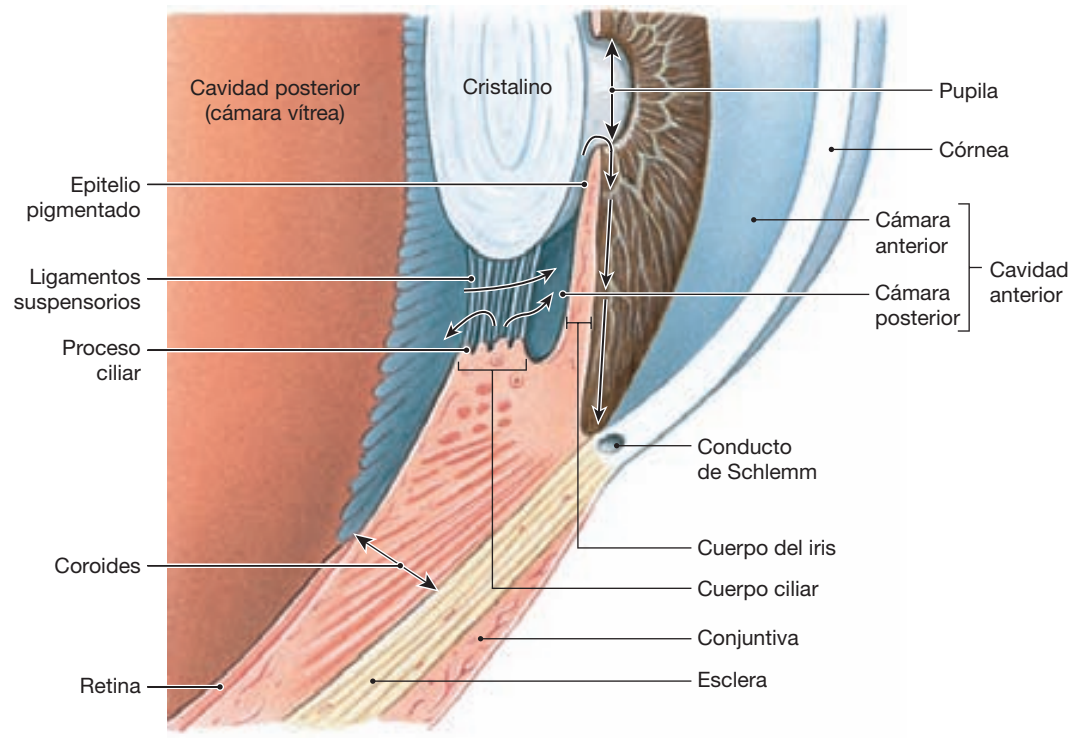


Figura 18.24 Circulación del humor acuoso
El humor acuoso secretado en el cuerpo ciliar circula a través de la cámara posterior y anterior así como al interior de la cavidad posterior (flechas) antes de ser reabsorbido a través del conducto de Schlemm.

Nota clínica

Glaucoma El glaucoma afecta aproximadamente al 2% de la población mayor de 40 años. En este trastorno el humor acuoso no tiene libre acceso al conducto de Schlemm. Los factores primarios responsables no pueden determinarse en el 90% de los casos. Aunque está afectado el drenaje, la producción de humor acuoso continúa y la presión intraocular comienza a elevarse. La cubierta fibrosa de la esclera no puede expandirse de forma significativa, de modo que la presión en aumento empieza a empujar contra los tejidos blandos intraoculares circundantes. Cuando la presión intraocular se ha elevado hasta aproximadamente dos veces los niveles normales, la distorsión de las fibras nerviosas comienza a afectar la percepción visual. Si no se corrige este trastorno, finalmente da lugar a ceguera.

La mayoría de las exploraciones oculares incluyen una prueba de glaucoma. La presión intraocular se explora haciendo rebotar un fino chorro de aire en la superficie del ojo y midiendo la desviación producida. El glaucoma puede tratarse aplicando fármacos que contraen la pupila y tensan el borde del iris, haciendo la superficie más permeable al humor acuoso. La corrección quirúrgica consiste en perforar la pared de la cámara anterior para promover el drenaje y ahora se lleva acabo mediante cirugía con láser de forma ambulatoria.

El **cristalino** se sitúa posterior a la córnea, y se mantiene en posición por los ligamentos suspensorios que se originan en el cuerpo ciliar de la coroides (**v. figura 18.24**). El cristalino y sus ligamentos suspensorios forman el límite anterior de la cámara vítrea. Esta cámara contiene el **cuerpo vítreo,** una masa gelatinosa en ocasiones denominada *humor vítreo*. El cuerpo vítreo ayuda a mantener la forma del ojo, sostiene la superficie posterior del cristalino y da sostén físico a la retina al presionar la capa nerviosa contra la capa pigmentaria. El humor acuoso producido en la cámara posterior difunde libremente a través del cuerpo vítreo y a través de la superficie retiniana.

Cristalino [v. figuras 18.21/18.24]

La función principal del cristalino es enfocar la imagen visual en los fotorreceptores retinianos. Lleva a cabo esto cambiando su forma. El cristalino consta de capas concéntricas de células que están organizadas de forma precisa (**v. figuras 18.21b,d,e** y **18.24**). Una cápsula fibrosa densa cubre todo el cristalino.

Muchas de las fibras capsulares son elásticas, y a menos que se aplique una fuerza externa, se contraerán y harán el cristalino esférico. Alrededor de los bordes del cristalino, las fibras capsulares se entremezclan con las de los ligamentos suspensorios.

En reposo, la tensión de los ligamentos suspensorios domina sobre la cápsula elástica y aplana el cristalino. En esta posición, el ojo está enfocado para la visión lejana. Cuando se contraen los músculos ciliares, el cuerpo ciliar se desplaza hacia el cristalino. Este movimiento reduce la tensión de los ligamentos suspensorios y el cristalino elástico adopta una forma más esférica que enfoca el ojo en los objetos cercanos.

Vías visuales [v. figuras 18.25/18.26]

Cada célula tipo bastón y cono controla un campo receptivo específico. Una imagen visual deriva del procesamiento de la información proporcionada por toda la población de receptores. En la retina se produce una cantidad significativa de procesamiento antes de que la información sea enviada al encéfalo, debido a las interacciones entre los diferentes tipos de células.

Los dos nervios ópticos, uno de cada ojo, alcanzan el diencéfalo en el quiasma óptico (**v. figura 18.25**). Desde este punto se produce una decusación parcial: aproximadamente la mitad de las fibras se dirigen hacia el núcleo geniculado lateral del mismo lado del encéfalo, mientras que la otra mitad se cruza para alcanzar el núcleo geniculado lateral del lado opuesto (**v. figura 18.26**). La información visual de la mitad izquierda de cada retina llega al núcleo genicu-

Nota clínica

Cataratas La transparencia del cristalino depende de una combinación precisa de características estructurales y bioquímicas. Cuando ese equilibrio se altera, el cristalino pierde su transparencia y cambia de forma, haciéndose más duro y más plano. El cristalino anormal se conoce como **catarata.** Actúa como una ventana nublada o congelada, distorsionando y obscureciendo la imagen que alcanza la retina.

Las cataratas pueden ser congénitas o ser resultado de reacciones a fármacos, traumatismos o radiación, pero las **cataratas seniles,** una consecuencia normal del envejecimiento, son las más frecuentes. A medida que avanza la edad, el cristalino se hace menos elástico y el individuo tiene dificultades para enfocar los objetos cercanos (la persona se hace «hipermétrope».) En este período, puede desarrollarse una catarata lentamente y sin dolor. Inicialmente, la turbiedad puede afectar sólo a una pequeña parte del cristalino, y el individuo puede no ser consciente de ninguna pérdida de visión.

Con el tiempo, el cristalino adquiere un tono amarillento y finalmente comienza a perder su transparencia. A medida que el cristalino se vuelve «turbio», el individuo necesita luces más brillantes para leer, un contraste más alto y caracteres más grandes. La claridad visual comienza a apagarse. La luz del sol, de las lámparas o de los faros de los automóviles que vienen en dirección contraria puede parecer más brillante. Con frecuencia el resplandor y los halos alrededor de las luces pueden hacer que conducir sea incómodo y peligroso. La fatiga visual y el parpadeo repetitivo pueden hacerse más frecuentes. Además, los colores no parecen tan vívidos, o incluso puede parecer que tienen un tinte amarillento.

Si el cristalino se vuelve completamente opaco, la persona será funcionalmente ciega, incluso aunque los receptores retinianos sean

normales. Los procedimientos quirúrgicos modernos incluyen extirpar el cristalino, ya sea intacto o en trozos, después de fragmentarlo con sonido de alta frecuencia. La pérdida del cristalino puede sustituirse con uno artificial que se coloca detrás del iris. Después la visión puede ajustarse de forma precisa con gafas o lentes de contacto.

lado lateral del lado izquierdo; la información de la mitad derecha de cada retina va al lado derecho. Los núcleos geniculados laterales actúan como centros de intercambio que transmiten la información visual a los centros reflejos del tronco del encéfalo así como a la corteza cerebral. Los reflejos que controlan el movimiento ocular se desencadenan por la información que salta los núcleos geniculados laterales para hacer sinapsis en los colículos superiores.

Integración cortical [v. figura 18.26]

Las sensaciones visuales surgen de la integración de la información que llega a la corteza visual de los lóbulos occipitales de los hemisferios cerebrales. La corteza visual contiene un mapa sensitivo de todo el campo de visión. Como en el caso de la corteza sensitiva primaria, el mapa no duplica fielmente las áreas relativas del campo sensorial.

Cada ojo también recibe una imagen ligeramente diferente, porque: 1) sus fóveas están separadas 5-7,5 centímetros, y 2) la nariz y la cuenca del ojo bloquean la visión del lado opuesto. Las áreas de asociación e integración de la corteza comparan las dos perspectivas (**v. figura 18.26**) y las utilizan para proporcionarnos la percepción en profundidad. El cruzamiento parcial que tiene lugar en el quiasma asegura que la corteza visual reciba un *retrato robot* de todo el campo visual.

Tronco del encéfalo y procesamiento visual [v. figura 18.26]

Muchos centros del tronco del encéfalo reciben información visual, bien de los núcleos geniculados laterales o bien a través de colaterales desde los tractos ópticos. Las colaterales que saltan los núcleos geniculados laterales hacen sinapsis en el colículo superior o en el hipotálamo (**v. figura 18.26b**). El colículo superior del cerebro medio envía órdenes motoras que controlan los movimientos subconscientes de los ojos, la cabeza o el cuello en respuesta a los estímulos visuales. Las aferencias visuales al **núcleo supraquiasmático** del hipotálamo y a las células endocrinas de la *glándula pineal* afectan a la función de otros núcleos troncoencefálicos. Estos núcleos establecen un patrón diario de actividad visceral que está ligado al ciclo día-noche. Este **ritmo circadiano** (*circa,* alrededor + *dies,* día) influye en la tasa metabólica, la función endocrina, la presión arterial, las actividades digestivas, el ciclo sueño-vigilia y otros procesos fisiológicos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué capa del ojo sería la primera en afectarse por una producción inadecuada de lágrima?
2. Si la presión intraocular se eleva de forma anormal, ¿qué estructuras del ojo se afectarían y en qué sentido?
3. ¿Sería capaz de ver una persona nacida sin conos en los ojos? Explíquelo.
4. En la sala de anatomía su compañero le pregunta, «¿Qué son los procesos ciliares y qué hacen?» ¿Cómo respondería?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo de los órganos especiales, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

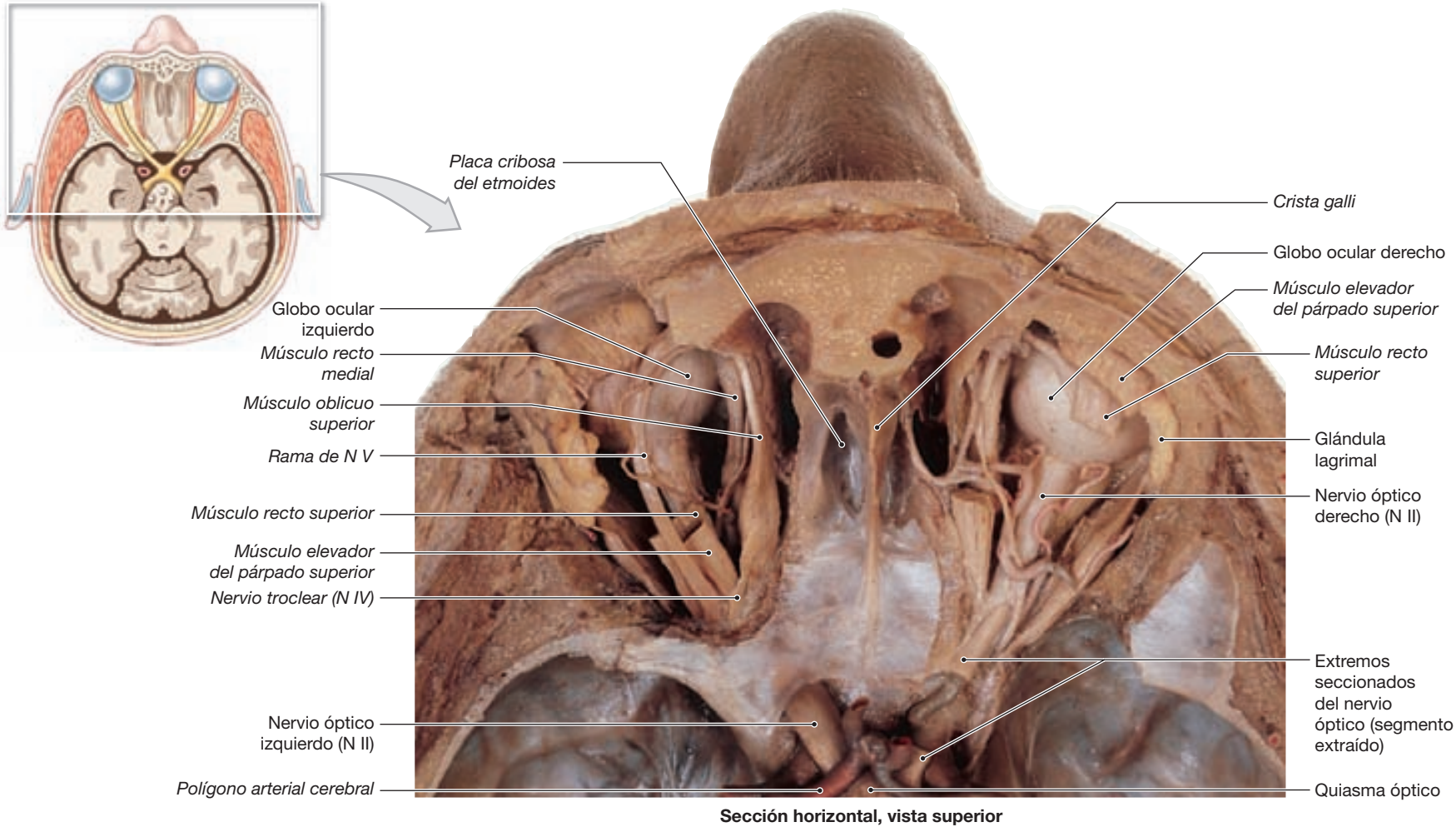
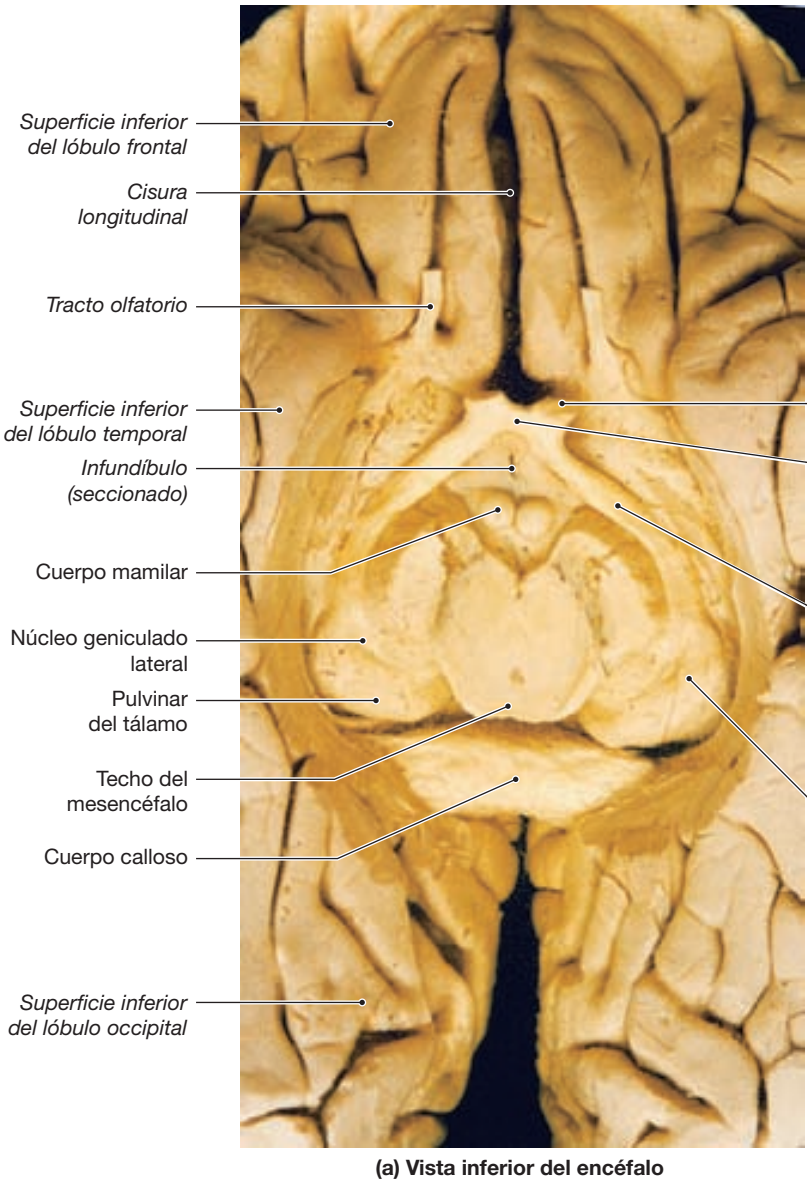


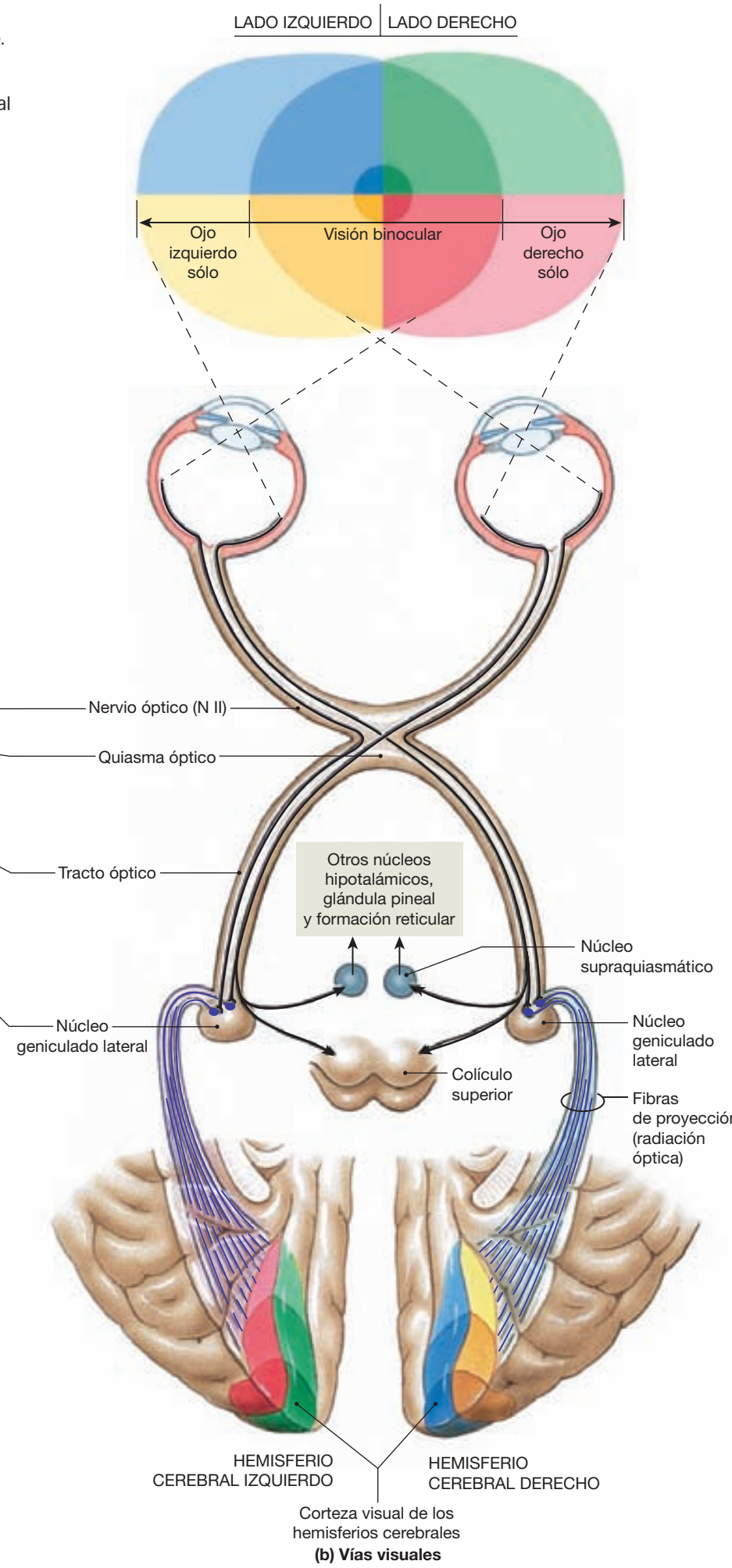
Figura 18.25 Anatomía de las vías visuales, parte I
Vista superior de una sección horizontal a través de la cabeza a nivel del quiasma óptico.

Figura 18.26 Anatomía de las vías visuales, parte II

(a) Vista inferior del encéfalo. Se ha extraído gran parte del tronco del encéfalo. Se han diseccionado porciones de los hemisferios cerebrales para mostrar el tracto óptico **(b)** En el quiasma óptico se produce un cruzamiento parcial de fibras nerviosas. Como consecuencia, cada hemisferio recibe información visual de la mitad lateral de la retina del ojo de ese lado y de la mitad medial de la retina del ojo del lado opuesto. Las áreas de asociación visual integran esta información para desarrollar un retrato robot de todo el campo visual.



(a) Vista inferior del encéfalo



(b) Vías visuales

Caso clínico

SISTEMA NERVIOSO

¿QUÉ DIJO USTED, DOCTOR?

Juan Angleman, un operario de 41 años de edad, visita al médico de empresa refiriendo dificultad para la audición con el oído derecho. Este problema comenzó hace aproximadamente 3 meses y él cree que está empeorando. Su esposa se dio cuenta de que él gira el oído izquierdo hacia ella para oírla cuando habla. Además, Juan ha notado que tiene que usar el teléfono con el lado izquierdo. Él informa al doctor que también ha estado un poco inestable, pero lo atribuye a que se hace mayor. Juan afirma que generalmente lleva sus tapones de protección para los oídos cuando trabaja.

Exploración inicial

El médico lo explora y encuentra que no puede oír un diapasón de tono alto con el oído derecho tan bien como con el izquierdo. Lo deriva a un audiólogo.

El audiólogo lleva a cabo una valoración formal con una cita al día siguiente. La exploración del audiólogo confirma una pérdida grave de tonos altos y medios en ambos oídos y una pérdida moderada de tonos graves. Como Juan ha trabajado en un ambiente laboral muy ruidoso, supone que tiene el trastorno frecuente inducido por el ruido, una pérdida auditiva de alta frecuencia. No se realiza una anamnesis formal del paciente.

El audiólogo recomienda lo siguiente:

- Juan debe comenzar inmediatamente a utilizar una forma diferente de protección para cubrir los oídos que bloquee un mayor porcentaje del ruido de la maquinaria de la fábrica.
- Juan también se debe plantear el uso de audífonos.

Juan vuelve al médico de empresa 2 meses después. A pesar de llevar las nuevas cubiertas protectoras para los oídos, sus problemas auditivos han empeorado. Además, también refiere entumecimiento facial y torpeza con la mano derecha. También ha notado problemas frecuentes con su pierna derecha cuando camina. El médico de empresa deriva a Juan a un neurólogo.

Exploración de seguimiento

La neuróloga revisa los resultados de las pruebas llevadas a cabo por el médico de empresa y el audiólogo. También realiza su propia exploración física a Juan.

- Encuentra que Juan tiene nistagmo, que empeora considerablemente cuando mira hacia la derecha.
- La neuróloga pide a Juan que haga la siguiente maniobra sencilla:
  1. Con un codo flexionado 90° y la mano en supinación de modo que la palma esté hacia arriba y paralela al suelo, Juan coloca su otra mano sobre la palma supinada.
  2. Después pide a Juan que prone y supine rápidamente la segunda mano sobre la palma.

Esta maniobra explora su capacidad para realizar «movimientos alternantes rápidos».

- Después la neuróloga pide a Juan que realice otra maniobra:
  1. Con la mayor parte de su peso sobre una pierna, Juan mueve su otro pie de modo que golpee el suelo con el talón-los dedos lo más rápidamente posible.
  2. La neuróloga hace que Juan repita los movimientos usando el otro lado de su cuerpo. La neuróloga aprecia que Juan está extremadamente torpe y es incapaz de completar estas tareas en un lado.

La neuróloga solicita una TC. Los resultados del escáner son negativos para lesiones. Sin embargo, como la TC no visualiza adecuadamente la fosa craneal posterior del cráneo, también se solicita una RM.

Puntos de interés

Cuando examine la información presentada en el caso descrito, repase el contenido tratado en los capítulos 11 a 17 y determine qué información anatómica le permitirá diagnosticar, mediante los datos aportados, la enfermedad de Juan.

1. ¿Qué estructuras están afectadas en la percepción del sonido?
2. Perfile la vía coclear que está implicada en la transmisión de los potenciales de acción desde el oído interno hasta la corteza cerebral.

Análisis e interpretación

La información siguiente responde las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas a las que se alude más abajo.

1. Las estructuras implicadas en la percepción del sonido incluyen las estructuras del oído externo, medio e interno (pp. 475-483).
2. La vía coclear se esboza en la p. 482.

Diagnóstico

Juan es diagnosticado de un tumor conocido como schwanoma vestibular del VIII nervio craneal. Este tumor está causando una compresión lateral del tronco del encéfalo. En la **figura 18.27a,b** se encuentran ejemplos de esta lesión.

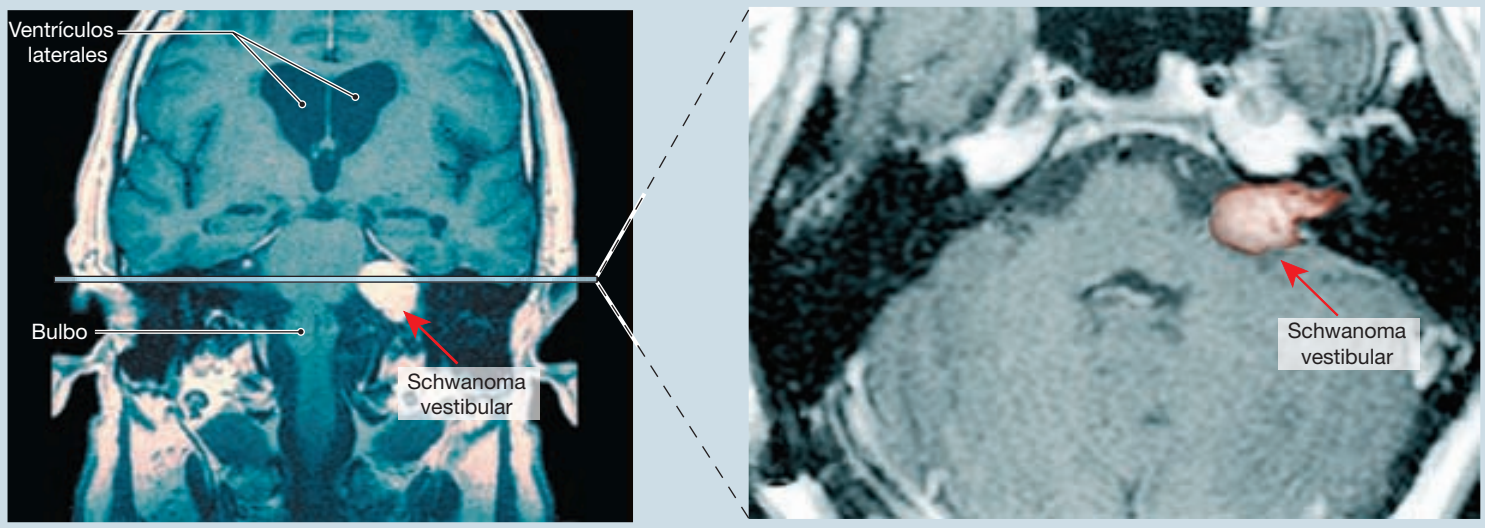
El VIII nervio craneal **[pp. 416-417, 423]** es un nervio sensitivo especial que se encarga del equilibrio (rama vestibular) y la audición (rama coclear). Un tumor como este interrumpiría la transmisión de la información al encéfalo por las porciones auditiva y vestibular del oído interno. Esta interrupción daría lugar a una reducción de la capacidad de audición así como a un trastorno del equilibrio, los cuales explicarían muchos de los síntomas de Juan.

Un schwanoma vestibular es un tumor benigno (no canceroso) causado por un aumento del crecimiento celular en el endoneuro del VIII nervio craneal. Este tipo de tumor producirá trastornos del equilibrio y la audición (dando lugar con frecuencia a un zumbido en el oído denominado *acúfeno*) debido a su efecto sobre el VIII nervio craneal. Además, debido a la localización del tumor en el caso de Juan, el schwanoma vestibular puede producir compresión del tronco del encéfalo y el cerebelo. Como consecuencia,

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

audiólogo: Especialista en la valoración y rehabilitación de los individuos cuyos trastornos de comunicación provienen completamente o en parte de una afectación auditiva.
nistagmo: Movimiento rítmico involuntario de los globos oculares.
prueba del pinchazo: Prueba realizada a través de la cual se toca suavemente la piel con un alfiler en varias localizaciones para determinar la sensibilidad neurológica de una región a varios tipos de tacto y dolor.

Casoc línico *(cont.)*



(a) RM, plano frontal **(b) RM, plano horizontal**

Figura 18.27 Schwanoma vestibular
(a) RM en el plano frontal que muestra un schwanoma vestibular. **(b)** RM en el plano horizontal que muestra un schwanoma vestibular.

el funcionamiento normal de estas dos subdivisiones del encéfalo se alteraría. Aunque este tumor es benigno, amenaza la vida porque el tumor con frecuencia da lugar a un incremento de la presión intracraneal. Este aumento de presión en el cráneo rodeando el encéfalo produce trastornos de la función del tronco del encéfalo que pueden ser mortales si no se tratan. ■

TÉRMINOS CLÍNICOS

audiograma: Un registro gráfico de la ejecución de un sujeto durante una prueba de audición.

catarata: Un cristalino anómalo que ha perdido su transparencia.

dolor referido: Sensaciones dolorosas de los órganos viscerales que a menudo se perciben como si se originaran en áreas más superficiales inervadas por los mismos nervios espinales.

enfermedad de Ménière: Vértigo agudo causado por la ruptura de la pared del laberinto membranoso.

escotomas: Manchas ciegas anómalas que están en posición fija.

hipoacusia de conducción: Hipoacusia resultante de trastornos en el oído medio que bloquean la transferencia de vibraciones desde la membrana timpánica hasta la ventana oval.

hipoacusia nerviosa: Hipoacusia resultante de problemas en la cóclea o a lo largo de la vía auditiva.

implante coclear: Inserción de electrodos en el nervio coclear para aportar una estimulación externa que proporciona cierta sensibilidad a los sonidos en ausencia de un órgano de Corti funcional.

mastoiditis: Infección e inflamación de las celdillas aéreas mastoideas.

miringotomía: Drenaje del oído medio a través de una apertura quirúrgica en el tímpano.

nistagmo: Movimientos oculares cortos y espasmódicos que en ocasiones aparecen después de una lesión del tronco del encéfalo o el oído interno.

prueba de conducción ósea: Una prueba para la hipoacusia de conducción, que generalmente consiste en la colocación de un diapasón vibrando contra el cráneo.

vértigo: Una sensación inapropiada de movimiento.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 471

1. La **sensibilidad general** está formada por la temperatura, el dolor, el tacto, la presión, la vibración y la propiocepción; los receptores para esta sensibilidad están distribuidos por todo el organismo. Los receptores para los **sentidos especiales** (**olfato, gusto, equilibrio, audición** y **visión**) están localizados en áreas especializadas, u **órganos de los sentidos.** Un **receptor sensitivo** es una célula especializada que cuando se estimula envía una **sensación** al SNC.

Receptores 471

1. La **especificidad del receptor** permite que cada receptor responda a estímulos particulares. Los receptores más sencillos son **terminaciones nerviosas libres;** el área controlada por una única célula receptora es el **campo receptivo** *(v. figura 18.1).*

Interpretación de la información sensitiva 471

2. Los **receptores tónicos** siempre están enviando señales al SNC; los **receptores fásicos** se activan sólo cuando cambian las condiciones que controlan.

Procesamiento central y adaptación 471

3. La **adaptación** (una reducción de la sensibilidad en presencia de un estímulo constante) puede implicar cambios en la sensibilidad del receptor **(adaptación periférica,** o **sensitiva)** o una inhibición a lo largo de las vías sensitivas **(adaptación central)**. Los **receptores de adaptación rápida** son fásicos; los **receptores de adaptación lenta** son tónicos.

Limitaciones sensitivas 472

4. La información proporcionada por nuestros receptores sensitivos es incompleta porque: 1) no tenemos receptores para todos los estímulos; 2) nuestros receptores tienen unos límites restringidos de sensibilidad, y 3) un estímulo produce un fenómeno nervioso que debe ser interpretado por el SNC.

Sensibilidad general 472

1. Los receptores se clasifican como **exterorreceptores** si proporcionan información acerca del entorno externo, e **interorreceptores** si controlan las condiciones en el interior del organismo.

Nocirreceptores 472

2. Los **nocirreceptores** responden a una variedad de estímulos generalmente asociados con lesión tisular. Existen dos tipos de sensaciones dolorosas: **dolor rápido** *(punzante)* y **dolor lento** *(urente y sordo) (v. figuras 18.2/18.3a).*

Termorreceptores 473

3. Los **termorreceptores** responden a los cambios de temperatura. Conducen la sensibilidad a lo largo de las mismas vías que llevan la sensibilidad dolorosa.

Mecanorreceptores 473

4. Los **mecanorreceptores** responden a la distorsión física, el contacto o la presión sobre sus membranas celulares: los **receptores táctiles** al tacto, la presión y la vibración; los **barorreceptores** a los cambios de presión en las paredes de los vasos sanguíneos y del aparato digestivo, reproductor y urinario, y los **propiorreceptores** *(husos musculares)* a la posición de las articulaciones y los músculos *(v. figuras 18.3/18.4).*
5. Los **receptores para el tacto** y **la presión finos** proporcionan información detallada acerca del origen de la estimulación; los **receptores para el tacto** y **la presión groseros** están poco localizados. Los receptores táctiles importantes incluyen las **terminaciones nerviosas libres,** el **plexo de la raíz del pelo,** los **discos táctiles** *(discos de Merkel),* los **corpúsculos táctiles** *(corpúsculos de Meissner),* los **corpúsculos de Ruffini** y los **corpúsculos laminados** (*corpúsculos de Pacini*) *(v. figura 18.3).*
6. Los **barorreceptores** (receptores de estiramiento) controlan los cambios de presión; responden inmediatamente pero se adaptan rápidamente. Los barorreceptores de las paredes de las principales arterias y venas responden a los cambios de la presión arterial. Los receptores a lo largo del aparato digestivo ayudan a coordinar las actividades reflejas de la digestión *(v. figura 18.4).*
7. Los **propiorreceptores** controlan la posición de las articulaciones, la tensión en los tendones y ligamentos y el estado de la contracción muscular.

Quimiorreceptores 475

8. En general, los **quimiorreceptores** responden a las sustancias hidrosolubles y liposolubles que están disueltas en el líquido circundante. Controlan la composición química de los líquidos corporales *(v. figura 18.5).*

Capacidad olfativa (olfato) 477

1. Los **órganos olfativos** contienen el **epitelio olfativo** con los **receptores olfativos** (neuronas sensibles a las sustancias químicas disueltas en el moco suprayacente), **células de sostén,** y **células Basales** *(madre).* Sus superficies están cubiertas por las secreciones de las **glándulas olfatorias** *(v. figura 18.6).*

Receptores olfativos 477

2. Los receptores olfativos son neuronas modificadas *(v. figura 18.6b).*

Vías olfativas 477

3. El sistema olfativo tiene conexiones límbicas e hipotalámicas extensas que ayudan a explicar las respuestas emocionales y conductuales que pueden producir ciertos olores *(v. figura 18.6b).*

Discriminación olfativa 478

4. El sistema olfativo puede hacer distinciones sutiles entre miles de estímulos químicos; el SNC interpreta el olor.
5. La población de receptores olfativos muestra un recambio considerable y es el único ejemplo conocido de reemplazo neuronal en el ser humano adulto. El número total de receptores disminuye con la edad.

Capacidad gustativa (gusto) 478

1. La c**apacidad gustativa**, o gusto, proporciona información acerca del alimento y los líquidos que consumimos.

Receptores gustativos 478

2. Los **receptores gustativos** están incluidos en los **botones gustativos**, cada uno de los cuales contiene **células gustativas**, que extienden sus *pelos gustativos* a través de un estrecho **poro gustativo** *(v. figura 18.7b,c).*
3. Los botones gustativos están asociados a proyecciones epiteliales **(papilas)** *(v. figura 18.7a).*

Vías gustativas 479

4. Los botones gustativos están controlados por los nervios craneales VII, IX y X. Las fibras aferentes hacen sinapsis en el **núcleo solitario** antes de dirigirse hacia el tálamo y la corteza cerebral *(v. figura 18.8).*

Discriminación gustativa 479

5. Las **sensaciones gustativas** son dulce, salado, agrio, amargo, umami y agua.
6. Existen diferencias individuales en la sensibilidad a sabores específicos. El número de botones gustativos y su sensibilidad disminuyen con la edad *(v. figura 18.8).*

Equilibrio y audición 480

Oído externo 480

1. El **oído externo** incluye la **aurícula,** que rodea la entrada al **conducto auditivo externo** que termina en la **membrana timpánica (tímpano)** *(v. figuras 18.9/18.10).*

Oído medio 480

2. En el **oído medio,** la **cavidad timpánica** encierra y protege los **huesecillos del oído,** que conectan la membrana timpánica con el complejo receptor del oído interno. La cavidad timpánica se comunica con la nasofaringe a través de la **trompa auditiva** *(v. figuras 18.9/18.10).*
3. Los **músculos tensor del tímpano** y **estapedio** se contraen para reducir la cantidad de movimiento del tímpano cuando llegan sonidos muy altos *(v. figuras 18.9/18.10b,d).*

Oído interno 482

4. Los sentidos del equilibrio y la audición están proporcionados por los receptores del **oído interno** (alojados en conductos y cámaras llenos de líquido conocidos como el **laberinto membranoso**). Sus cámaras y conductos contienen **endolinfa**. El **laberinto óseo** rodea y protege el laberinto membranoso. El laberinto óseo puede subdividirse en el **vestíbulo** y **conductos semicirculares** (que proporcionan el sentido del equilibrio) y la **cóclea** (que proporciona el sentido de la audición) *(v. figuras 18.9/18.11 a 18.17).*
5. El vestíbulo incluye un par de sacos membranosos, el **utrículo** y el **sáculo,** cuyos receptores proporcionan las sensaciones de gravedad y aceleración lineal. La cóclea contiene el **conducto coclear,** una porción alargada del laberinto membranoso *(v. figura 18.12).*
6. Los receptores básicos del oído interno son las **células pilosas** cuyas superficies tienen estereocilios. Las células pilosas proporcionan información acerca de la dirección y la fuerza de estímulos mecánicos variados.
7. Los **conductos semicirculares membranosos anterior**, **posterior** y **lateral** se continúan con el utrículo. Cada uno contiene una **ampolla** con receptores sensoriales. Aquí los cilios contactan con una **cúpula** gelatinosa *(v. figuras 18.13/18.14).*
8. El utrículo y el sáculo están conectados por un conducto que se continúa con el **conducto endolinfático**, el cual termina en el **saco endolinfático.** En el sáculo

y el utrículo, las células pilosas se agrupan en **máculas,** donde sus cilios contactan con los **otolitos** que constan de cristales minerales densamente agrupados (**estatoconias**) en una matriz gelatinosa. Cuando la cabeza se inclina, la masa de cada otolito se desplaza y la distorsión resultante en los pelos sensoriales envía una señal al SNC *(v. figura 18.15)*.

9. Los receptores vestibulares activan las neuronas sensitivas de los **ganglios vestibulares.** Los axones forman la **rama vestibular** del nervio vestibulococlear (N VIII), haciendo sinapsis en los **núcleos vestibulares** (*v. figura 18.16)*.

Audición 486

10. El sonido viaja hacia el tímpano el cual vibra; los huesecillos del oído conducen las vibraciones hasta la base del estribo en la ventana oval. El movimiento en la ventana oval ejerce una presión primero sobre la perilinfa del **conducto vestibular.** Esta presión pasa a la perilinfa del **conducto timpánico** *(v. figura 18.17)*.
11. Las ondas de presión distorsionan la **lámina basilar** y empujan las células pilosas del **órgano de Corti** (**órgano espiral**) contra la **membrana tectoria** *(v. figura 18.17 y tabla 18.2)*.

Vías auditivas 490

12. Las neuronas sensitivas para la audición se localizan en el **ganglio espiral** de la cóclea. Sus fibras aferentes forman la **rama coclear** del nervio vestibulococlear (N VIII), haciendo sinapsis en el **núcleo coclear** (*v. figura 18.18)*.

Visión 491

Estructuras accesorias del ojo 491

1. Las **estructuras accesorias** del ojo incluyen los **párpados,** que están separados por la **hendidura palpebral.** Las **pestañas** cubren los bordes palpebrales. Las **glándulas tarsales,** que secretan un producto rico en lípidos, cubren los márgenes internos de los párpados. Las glándulas de la **carúncula lagrimal** producen otras secreciones *(v. figura 18.19)*.
2. Las secreciones de la **glándula lagrimal** bañan la conjuntiva; estas secreciones son ligeramente alcalinas y contienen **lisozimas** (enzimas que atacan las bacterias). Las lágrimas se recogen en el *lago lagrimal*. Las lágrimas alcanzan el meato nasal inferior después de pasar a través de los **puntos lagrimales,** los **conductillos lagrimales,** el **saco lagrimal** y el **conducto nasolagrimal.** En conjunto, estas estructuras constituyen el **aparato lagrimal** *(v. figuras 18.19 a 18.21)*.

El ojo 493

3. El ojo tiene tres capas: una *túnica fibrosa* externa, una *túnica vascular* y una *túnica nerviosa* interna.
4. La **túnica fibrosa** incluye la mayor parte de la superficie ocular que está cubierta por la **esclera** (un tejido conjuntivo fibroso denso de la túnica fibrosa); el **limbo corneal** es el límite entre la esclera y la córnea *(v. figura 18.21)*.
5. Un epitelio denominado **conjuntiva** cubre la mayoría de la superficie expuesta del ojo; la **conjuntiva bulbar,** u **ocular,** cubre la superficie anterior del ojo, y la **conjuntiva palpebral** recubre la superficie interna de los párpados. La **córnea** es transparente *(v. figura 18.21)*.
6. La **túnica vascular** incluye el **iris**, el **cuerpo ciliar** y la **coroides.** El iris forma el límite entre las cámaras anterior y posterior. El cuerpo ciliar contiene el **músculo ciliar** y los **procesos ciliares,** que se fijan a los **ligamentos suspensorios** (*fibras zonulares*) del cristalino *(v. figuras 18.21/18.23)*.
7. La **túnica nerviosa** (**retina**) consta de una **capa pigmentaria** externa y una **retina nerviosa** interna; la última contiene los receptores visuales y las neuronas asociadas *(v. figuras 18.21 a 18.23)*.
8. Existen dos tipos de **fotorreceptores** (receptores visuales de la retina). Los **bastones** proporcionan la visión en blanco y negro con luz tenue; los **conos** proporcionan la visión en color con luz brillante. Los conos se concentran en la **mácula lútea;** la **fóvea** *(fóvea central)* es el área de la visión más aguda *(v. figuras 18.21/18.23)*.
9. La vía directa al SNC se dirige desde los fotorreceptores hasta las **células bipolares**, después a las **células ganglionares** y al encéfalo a través del nervio óptico. Las **células horizontales** y las **células amacrinas** modifican las señales que pasan entre los otros componentes retinianos *(v. figura 18.23a)*.
10. El **humor acuoso** circula continuamente en el ojo y vuelve a entrar en la circulación después de difundir a través de las paredes de la cámara anterior y hacia el **conducto de Schlemm** *(seno venoso de la esclera) (v. figura 18.24)*.
11. El **cristalino,** que se mantiene en posición mediante los ligamentos suspensorios, se sitúa posterior a la córnea y forma el límite anterior de la cámara vítrea. Esta cámara contiene el **cuerpo vítreo,** una masa gelatinosa que ayuda a estabilizar la forma del ojo y sostiene la retina *(v. figuras 18.21/18.24)*.
12. El cristalino enfoca la imagen visual en los receptores de la retina.

Vías visuales 499

13. Cada fotorreceptor controla un campo receptivo específico. Los axones de las células ganglionares convergen en el **disco óptico** y avanzan a lo largo del tracto óptico hasta el quiasma óptico *(v. figuras 18.21b,e/18.23/18.25/18.26)*.
14. Desde el quiasma óptico, después de una decusación parcial, la información visual se transmite a los núcleos geniculados laterales. Desde allí, la información se envía a la corteza visual de los lóbulos occipitales *(v. figura 18.26)*.
15. Las aferencias visuales hacia el **núcleo supraquiasmático** y la glándula pineal influyen en la función de otros núcleos del tronco del encéfalo. Estos núcleos establecen un **ritmo circadiano** visceral que está ligado al ciclo día-noche y que afecta a otros procesos metabólicos *(v. figura 18.26b)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. área controlada	a. pérdida de transparencia
___ 2. distorsión física	b. campo receptivo
___ 3. olfativo	c. similar al LCR
___ 4. gustativo	d. mecanorreceptores
___ 5. glándulas ceruminosas	e. glándulas de Bowman
___ 6. perilinfa	f. conducto coclear
___ 7. ampolla	g. cavidad anterior
___ 8. órgano de Corti	h. botones gustativos
___ 9. humor acuoso	i. conducto semicircular
___10. catarata	j. conducto auditivo externo

11. La parte anterior, transparente, de la túnica fibrosa, se conoce como:
(a) córnea (b) esclera
(c) iris (d) fóvea

12. Un receptor que es especialmente frecuente en las capas superficiales de la piel y responde al dolor es un:
(a) propiorreceptor (b) barorreceptor
(c) nocirreceptor (d) mecanorreceptor

13. Los receptores para el tacto y la presión finos proporcionan información detallada acerca de:
(a) el origen del estímulo (b) la forma del estímulo
(c) la textura del estímulo (d) todos los anteriores son correctos

14. Los receptores del sáculo y el utrículo proporciona sensibilidad en relación con:
(a) el equilibrio (b) la audición
(c) la vibración (d) la gravedad y la aceleración lineal

15. Profundamente a la capa subcutánea, los párpados están sostenidos por unas amplias láminas de tejido conjuntivo, denominadas en conjunto:
(a) párpados (b) placa tarsal
(c) calacio (d) canto medial

16. La túnica nerviosa:
    (a) consta de tres capas diferentes
    (b) contiene los fotorreceptores
    (c) forma el iris
    (d) todas las anteriores son correctas

17. Los conductos semicirculares óseos incluyen, ¿cuál de los siguientes?
    (a) dorsal y ventral
    (b) lateral, medio y medial
    (c) anterior, posterior y lateral
    (d) espiral, recto e inverso

18. Los mecanorreceptores que detectan los cambios de presión en las paredes de los vasos sanguíneos así como en porciones del aparato digestivo, reproductor y urinario son:
    (a) receptores táctiles
    (b) barorreceptores
    (c) propiorreceptores
    (d) receptores nerviosos libres

19. Los grupos musculares pupilares están controlados por el SNA. La activación parasimpática produce _____ pupilar, y la activación simpática causa _____.
    (a) dilatación; constricción
    (b) dilatación; dilatación
    (c) constricción; dilatación
    (d) constricción; constricción

20. La información auditiva acerca de la región y la intensidad de la estimulación se envía al SNC en la rama coclear del nervio craneal:
    (a) N IV
    (b) N VI
    (c) N VIII
    (d) N X

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Por qué una quemadura grave de la piel es menos dolorosa inicialmente que una quemadura menos seria?
    (a) los nocirreceptores de la piel se queman y no pueden transmitir la sensibilidad dolorosa al SNC
    (b) una quemadura grave desborda los nocirreceptores, y se adaptan rápidamente de modo que no se siente más dolor
    (c) una quemadura cutánea leve registra el dolor en los receptores del dolor y en muchos otros tipos simultáneamente
    (d) una quemadura grave está fuera de los límites de sensibilidad de la mayoría de los receptores del dolor

2. ¿Cómo influyen los músculos tensor del tímpano y estapedio en las funciones del oído?
    (a) no influyen en la audición, pero tienen una función importante en el equilibrio
    (b) incrementan la sensibilidad de la cóclea a la vibración producida por las ondas sonoras entrantes
    (c) regulan la apertura y el cierre de la trompa faringotimpánica
    (d) mitigan los sonidos excesivamente elevados que podrían dañar las sensibles células pilosas auditivas

3. Una persona salivea cuando espera comer un guiso apetitoso. ¿Esta respuesta física intensificaría el gusto o el olfato? Si es así, ¿por qué?
    (a) no, no intensificaría su gusto ni su olfato
    (b) la salivación permite que los alimentos se deslicen a través de la cavidad oral más fácilmente; no tiene efecto sobre el gusto ni el olfato
    (c) la mezcla adicional intensificaría la capacidad de las moléculas para ser disueltas y entrar en los poros gustativos más fácilmente y así intensificar la gustación; cambios similares reforzarían el olfato
    (d) sólo se intensificaría el sentido del gusto

4. ¿Qué es la especificidad del receptor? ¿Qué causa?

5. ¿Qué podría estimular la liberación de una mayor cantidad de neurotransmisor por una célula pilosa en la sinapsis con una neurona sensitiva?

6. ¿Cuáles son las funciones de las células pilosas del oído interno?

7. ¿Cuál es el papel funcional de la adaptación sensitiva?

8. ¿Qué tipo de información acerca de un estímulo proporciona la codificación sensitiva?

9. ¿Cuál sería la consecuencia de una lesión de los corpúsculos laminados del brazo?

10. ¿Cuál es la relación estructural entre el laberinto óseo y el laberinto membranoso?

Nivel 3 Pensamiento crítico

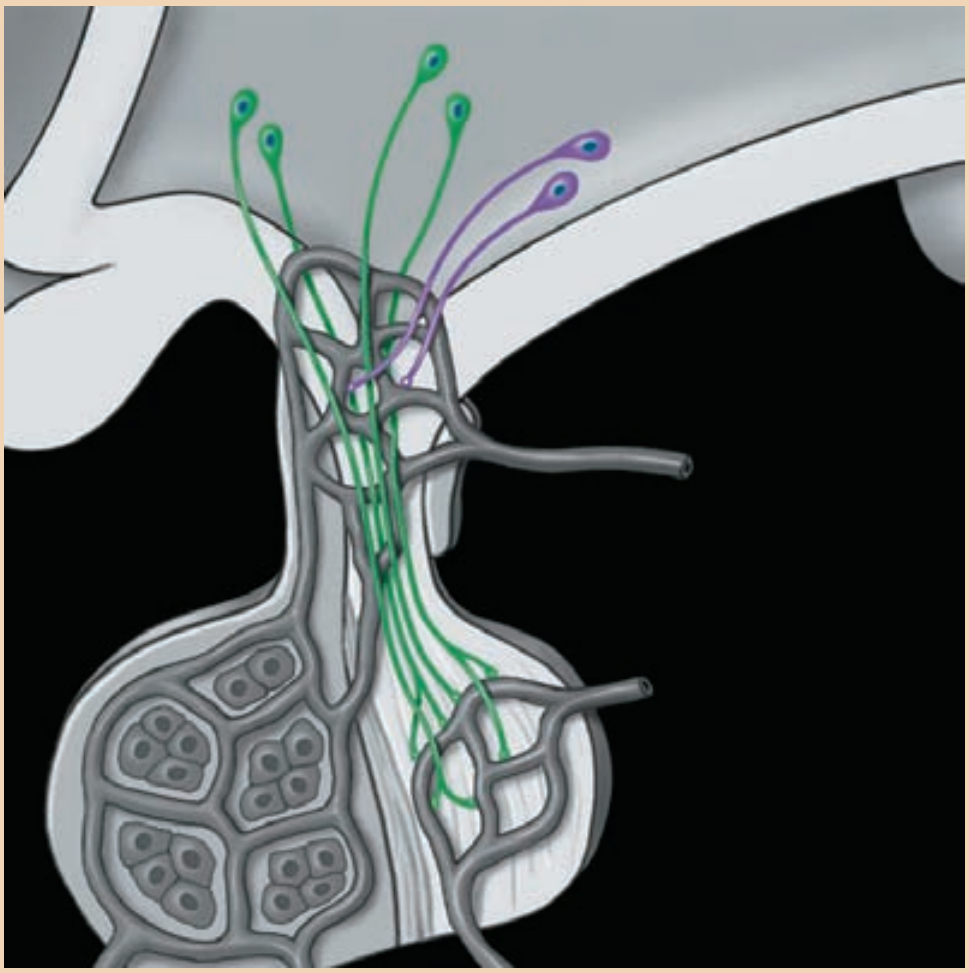
1. Beth ha sido sometida a cirugía para extirpar varios pólipos (crecimientos) de los senos paranasales. Después de recuperarse de la cirugía, se da cuenta de que su sentido del olfato no es tan fino como lo era antes de la cirugía. ¿Puedes sugerir una razón para esto?

2. Jared tiene 10 meses de edad, y su pediatra le diagnostica una otitis media. ¿Qué le dice el médico a su madre?

3. ¿Qué ocurre cuando se reduce la eficacia del sentido del gusto por un resfriado?

19

Sistema endocrino



Introducción 508

Visión general del sistema endocrino 508

Hipófisis 510

Glándula tiroides 513

Glándulas paratiroides 515

Timo 515

Glándulas suprarrenales 516

Funciones endocrinas de los riñones y el corazón 518

El páncreas y otros tejidos endocrinos del aparato digestivo 518

Tejidos endocrinos del aparato reproductor 520

Glándula pineal 521

Hormonas y envejecimiento 523

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Comparar la organización y las funciones básicas de los sistemas endocrino y nervioso.
2. Definir una hormona, describir los principales grupos químicos de hormonas y explicar cómo las hormonas ejercen su control sobre las células diana.
3. Describir las relaciones estructurales y funcionales que existen entre el hipotálamo y la neurohipófisis.
4. Describir la estructura de la neurohipófisis y las funciones que desempeñan las hormonas que libera.
5. Describir el control que ejerce el hipotálamo sobre la adenohipófisis.
6. Comentar la estructura de la adenohipófisis y las funciones de sus hormonas.
7. Describir la síntesis, el almacenamiento y la secreción de las hormonas tiroideas.
8. Describir la estructura de las glándulas paratiroides y las funciones de las hormonas paratiroideas.
9. Describir la localización y la estructura del timo y las funciones que desempeñan las hormonas que sintetiza.
10. Describir la estructura de la corteza y la médula suprarrenales y comentar las hormonas que se sintetizan en cada región.
11. Enumerar e identificar las funciones de las hormonas producidas por los riñones, el corazón, el páncreas y otros tejidos endocrinos del aparato digestivo.
12. Enumerar las hormonas producidas por las gónadas masculinas y femeninas y comentar sus funciones.
13. Explicar la ubicación y la estructura de la glándula pineal, y describir las funciones de las hormonas pineales.
14. Describir brevemente los efectos del envejecimiento sobre el sistema endocrino.
15. Comentar los resultados de una síntesis hormonal anormal.

La regulación homeostática implica la coordinación de las actividades de los órganos y sistemas de todo el organismo. En un momento dado, las células de los sistemas nervioso y endocrino colaboran para vigilar y regular la actividad fisiológica del organismo. Las actividades de ambos sistemas están estrechamente coordinadas y sus efectos son típicamente complementarios. En general, el sistema nervioso responde de forma breve (habitualmente durante unos pocos segundos), pero muy específica a los estímulos ambientales. Por el contrario, las células de las glándulas endocrinas liberan a la circulación sanguínea sustancias químicas que se distribuyen por todo el organismo [p. 59]. Estas sustancias químicas, denominadas **hormonas** (etimológicamente, que «excitan»), alteran simultáneamente la actividad metabólica de muchos tejidos y órganos diferentes. Los efectos hormonales pueden no apreciarse inmediatamente, pero una vez que aparecen suelen persistir durante días. Gracias a este patrón de respuesta, el sistema endocrino puede regular con gran eficacia diferentes procesos en curso, como el crecimiento y el desarrollo.

A primera vista, es muy fácil distinguir los sistemas nervioso y endocrino. Pero tras un análisis más detallado se comprueba que en algunos casos cuesta mucho diferenciar ambos sistemas desde un punto de vista anatómico o funcional. Por ejemplo, la médula suprarrenal es un ganglio simpático modificado cuyas neuronas secretan adrenalina y noradrenalina a la sangre [p. 458]. Por consiguiente, la médula suprarrenal es una estructura endocrina que desde el punto de vista funcional y del desarrollo forma parte del sistema nervioso, mientras que el hipotálamo es una parte anatómica del encéfalo que secreta distintas hormonas. Aunque en este capítulo describimos los componentes y las funciones del sistema endocrino, es inevitable considerar su interrelación con el sistema nervioso.

Visión general del sistema endocrino [v. figura 19.1]

El **sistema endocrino** está formado por todas las células de los tejidos endocrinos del organismo (v. figura 19.1)

Las células endocrinas son células secretoras glandulares que liberan hormonas directamente a los líquidos intersticiales, al sistema linfático o a la sangre. Por el contrario, las glándulas exocrinas liberan sus secreciones en una superficie epitelial [p. 59].

Atendiendo a su estructura química, las hormonas se dividen en cuatro grupos:

- **Derivados de aminoácidos:** Los **derivados de aminoácidos** son moléculas relativamente pequeñas con una estructura muy parecida a la de los aminoácidos. Como ejemplos podemos citar: 1) los derivados de la tirosina, como las **hormonas tiroideas** liberadas por la glándula tiroides y las **catecolaminas** (adrenalina, noradrenalina) liberadas por la médula suprarrenal, y 2) los derivados del triptófano, como la **melatonina** sintetizada por la glándula pineal.

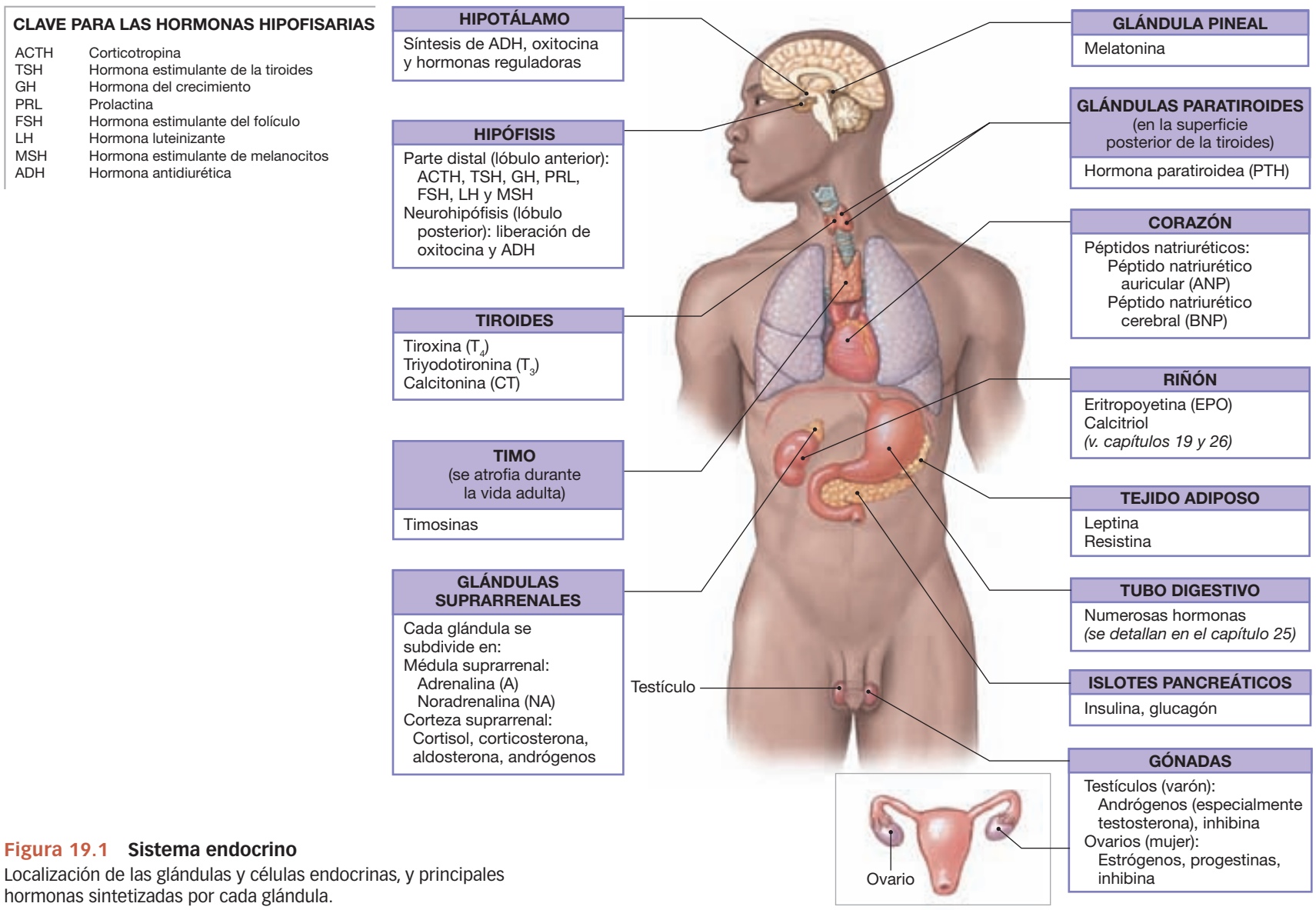


Figura 19.1 Sistema endocrino
Localización de las glándulas y células endocrinas, y principales hormonas sintetizadas por cada glándula.

- **Hormonas peptídicas:** Las **hormonas peptídicas** están formadas por cadenas de aminoácidos. Constituyen el grupo más extenso de hormonas; todas las hormonas hipofisarias son de este tipo.
- **Hormonas esteroides:** Las **hormonas esteroides** derivan del colesterol y son liberadas por los órganos reproductores y las glándulas suprarrenales.
- **Eicosanoides:** Los **eicosanoides** son moléculas pequeñas constituidas por un anillo de cinco átomos de carbono y son liberadas por la mayoría de las células del organismo. Estos compuestos coordinan las actividades celulares y regulan procesos enzimáticos (como la coagulación sanguínea) que tienen lugar en los líquidos extracelulares.

Las enzimas controlan todas las actividades y reacciones metabólicas celulares. Las hormonas influyen en los procesos celulares alterando los *tipos,* las *actividades* o las *cantidades* de determinadas enzimas citoplásmicas esenciales. De este modo, una hormona puede regular los procesos metabólicos de sus **células diana:** células periféricas que responden a su presencia.

La actividad endocrina está controlada por **reflejos endocrinos** que se ponen en marcha por efecto de: 1) *estímulos humorales* (cambios en la composición del líquido extracelular); 2) *estímulos hormonales* (aparición o desaparición de una determinada hormonas), o 3) *estímulos neurales* (llegada de neurotransmisores a las uniones neuroglandulares). En la mayoría de los casos, los reflejos endocrinos están regulados por algún tipo de retroalimentación negativa. En el caso de la retroalimentación negativa directa: 1) la célula endocrina responde a una alteración de la homeostasia (como un cambio en la concentración de una sustancia en el líquido extracelular) liberando su hormona a la circulación sanguínea; 2) la hormona liberada estimula una célula diana, y 3) la respuesta de la célula diana restablece la homeostasia y elimina el foco de estímulo de la célula endocrina. En el capítulo 5 explicamos el ejemplo del control de las concentraciones de calcio por la hormona paratiroidea [p. 124]. Cuando disminuyen las concentraciones de calcio circulante, se libera hormona paratiroidea y la respuesta de las células diana (osteoclastos) hace aumentar la concentración sanguínea de calcio. Al aumentar la concentración de calcio, disminuyen la estimulación paratiroidea y la secreción hormonal.

Existen reflejos endocrinos más complejos que implican uno o más pasos intermedios y en los que a menudo intervienen dos o más hormonas. Estas complejas sucesiones de acontecimientos pueden estar controladas por circuitos de retroalimentación negativa muy complejos o, en ocasiones, por un mecanismo de retroalimentación positiva. Los mecanismos reguladores más frecuentes son los bucles complejos de retroalimentación negativa. En estos casos, la secreción de una hormona, como la hormona estimulante de la tiroides sintetizada por la adenohipófisis (lóbulo anterior), estimula la secreción de una segunda hormona, como las hormonas tiroideas producidas por la glándula tiroides. La segunda hormona puede tener numerosos efectos, uno de los cuales consiste siempre en suprimir la liberación de la primera hormona.

La regulación hormonal por retroalimentación positiva se limita a aquellos procesos que deben completarse con rapidez. En estos casos, la secreción de una hormona produce un efecto que estimula aún más la liberación hormonal. Por ejemplo, la liberación de oxitocina durante el parto hace que se contraiga el músculo liso uterino y las contracciones uterinas estimulan aún más la liberación de oxitocina.

Hipotálamo y regulación endocrina

[v. figura 19.2]

Los centros de coordinación hipotalámicos regulan las actividades de los sistemas nervioso y endocrino por tres mecanismos diferentes (**v. figura 19.2**):

1. El hipotálamo secreta **hormonas reguladoras,** o *factores reguladores,* que controlan las actividades de las células endocrinas de la adenohipófisis (lóbulo anterior de la hipófisis). Las **hormonas liberadoras** (**RH**) estimulan la síntesis de una o más hormonas adenohipofisarias, mientras que las **hormonas inhibitorias** (**IH**) impiden la síntesis y la secreción de determinadas hormonas hipofisarias.
2. El hipotálamo actúa como un órgano endocrino, liberando a la circulación las hormonas *ADH* y *oxitocina* desde la neurohipófisis (lóbulo posterior).
3. El hipotálamo contiene centros neurovegetativos que ejercen un control neural directo sobre las células endocrinas de la médula suprarrenal [p. 406]. Cuando se activa la división simpática, la médula suprarrenal libera hormonas a la circulación sanguínea.

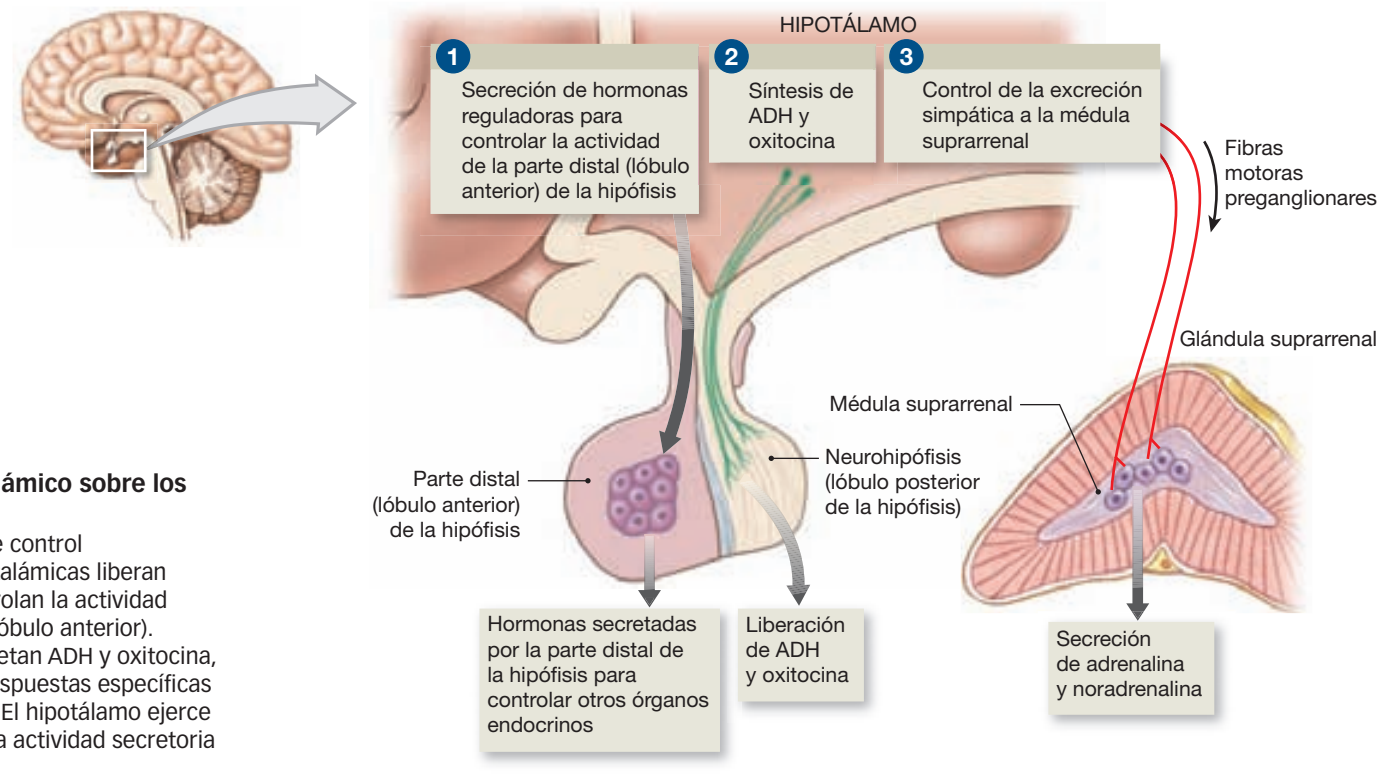

HIPOTÁLAMO
1
Secreción de hormonas reguladoras para controlar la actividad de la parte distal (lóbulo anterior) de la hipófisis
2
Síntesis de ADH y oxitocina
3
Control de la excreción simpática a la médula suprarrenal
Fibras motoras preganglionares
Glándula suprarrenal
Médula suprarrenal
Neurohipófisis (lóbulo posterior de la hipófisis)
Parte distal (lóbulo anterior) de la hipófisis
Hormonas secretadas por la parte distal de la hipófisis para controlar otros órganos endocrinos
Liberación de ADH y oxitocina
Secreción de adrenalina y noradrenalina

Figura 19.2 Control hipotalámico sobre los órganos endocrinos
Comparación de los tres tipos de control hipotalámico. **(1)** Neuronas hipotalámicas liberan hormonas reguladoras que controlan la actividad secretoria de la adenohipófisis (lóbulo anterior). **(2)** Neuronas hipotalámicas secretan ADH y oxitocina, unas hormonas que producen respuestas específicas en órganos diana periféricos. **(3)** El hipotálamo ejerce un control neural directo sobre la actividad secretoria de la médula suprarrenal (riñón).

Hipófisis [v. figuras 19.3/19.4 y tabla 19.1]

La **hipófisis,** o **glándula pituitaria,** pesa aproximadamente 6 gramos y constituye la factoría química más compacta del organismo. Esta glándula ovalada, pequeña (tiene aproximadamente el tamaño y el peso de una uva pequeña) se ubica debajo del hipotálamo en el interior de la *silla turca*, una depresión del hueso esfenoides [pp. 146-147]. El **infundíbulo** se extiende de la parte inferior del hipotálamo a las superficies posterior y superior de la hipófisis (v. figura 19.3a). El *diafragma de la silla turca* rodea el tallo del infundíbulo y mantiene la hipófisis en su posición dentro de la silla turca [p. 392].

En términos anatómicos y del desarrollo, la hipófisis se divide en dos lóbulos: la *adenohipófisis,* o *lóbulo anterior,* y la *neurohipófisis,* o *lóbulo posterior*. (v. figura 19.3). La hipófisis libera nueve hormonas peptídicas importantes, dos de ellas a través del *lóbulo neural* de la neurohipófisis y siete a través de las *partes distal* e *intermedia* de la adenohipófisis. En la tabla 19.1 se resume toda la información sobre las hormonas hipofisarias y sus objetivos; en la figura 19.4 se han representado esquemáticamente sus órganos diana más representativos.

Neurohipófisis [v. figuras 19.3 a 19.5/tabla 19.1]

La **neurohipófisis** (v. figura 19.3) es conocida también como el **lóbulo posterior** de la hipófisis. Contiene los axones y las terminaciones axonales de unas 50.000 neuronas hipotalámicas cuyos cuerpos celulares se localizan en los **núcleos supraóptico** o **paraventricular** (v. figura 19.5 y tabla 19.1). Los axones se prolongan desde estos núcleos a través del infundíbulo para ir a desembocar en terminaciones sinápticas en el *lóbulo neural* o *parte nerviosa* de la neurohipófisis. Las neuronas hipotalámicas sintetizan ADH (núcleos supraópticos) y oxitocina (núcleos paraventriculares). Se considera que la ADH y la oxitocina son *neurosecreciones* debido a que son sintetizadas y liberadas por neuronas. Una vez liberadas, estas hormonas acceden a los capilares locales de la **arteria hipofisaria inferior** (v. figura 19.5) y, a través de los mismos, son transportados hasta la circulación general.

El lóbulo posterior (v. figura 19.4) libera las siguientes hormonas:

1. *ADH*: la hipófisis libera **hormona antidiurética,** o *vasopresina,* en respuesta a diferentes estímulos, especialmente cuando aumenta la concentración de electrólitos en la sangre o disminuye el volumen o la presión de la sangre. La principal función de la ADH consiste en limitar la cantidad de agua que se pierde por los riñones. También induce la constricción de los vasos sanguíneos periféricos, lo que ayuda a elevar la presión arterial.
2. *Oxitocina*: la **oxitocina** (*oxy-*, rápido + *tokos*, parto) cumple unas funciones perfectamente conocidas en las mujeres: estimula la contracción de las células musculares lisas del útero y de las células contráctiles (mioepiteliales) que rodean las células secretorias de la glándula mamaria. Para que el parto se desarrolle normalmente, es necesario que la oxitocina estimule los músculos uterinos en la fase final de la gestación. Tras el parto, la succión del lactante sobre la mama estimula la liberación de oxitocina a la sangre. Dicha oxitocina estimula la contracción de las células mioepiteliales de las glándulas mamarias, favoreciendo la salida de la leche por el pezón. En el varón humano, la oxitocina induce la contracción del músculo liso prostático.

Adenohipófisis [v. figura 19.3 y tabla 19.1]

La **adenohipófisis** (también conocida como **lóbulo anterior** de la hipófisis) contiene cinco tipos diferentes de células (v. tabla 19.1). La adenohipófisis puede subdividirse en tres regiones: 1) una **parte distal,** grande, que representa la mayor parte de la hipófisis; 2) una **parte intermedia,** más delgada, que forma una franja estrecha contigua a la neurohipófisis, y 3) una extensión conocida

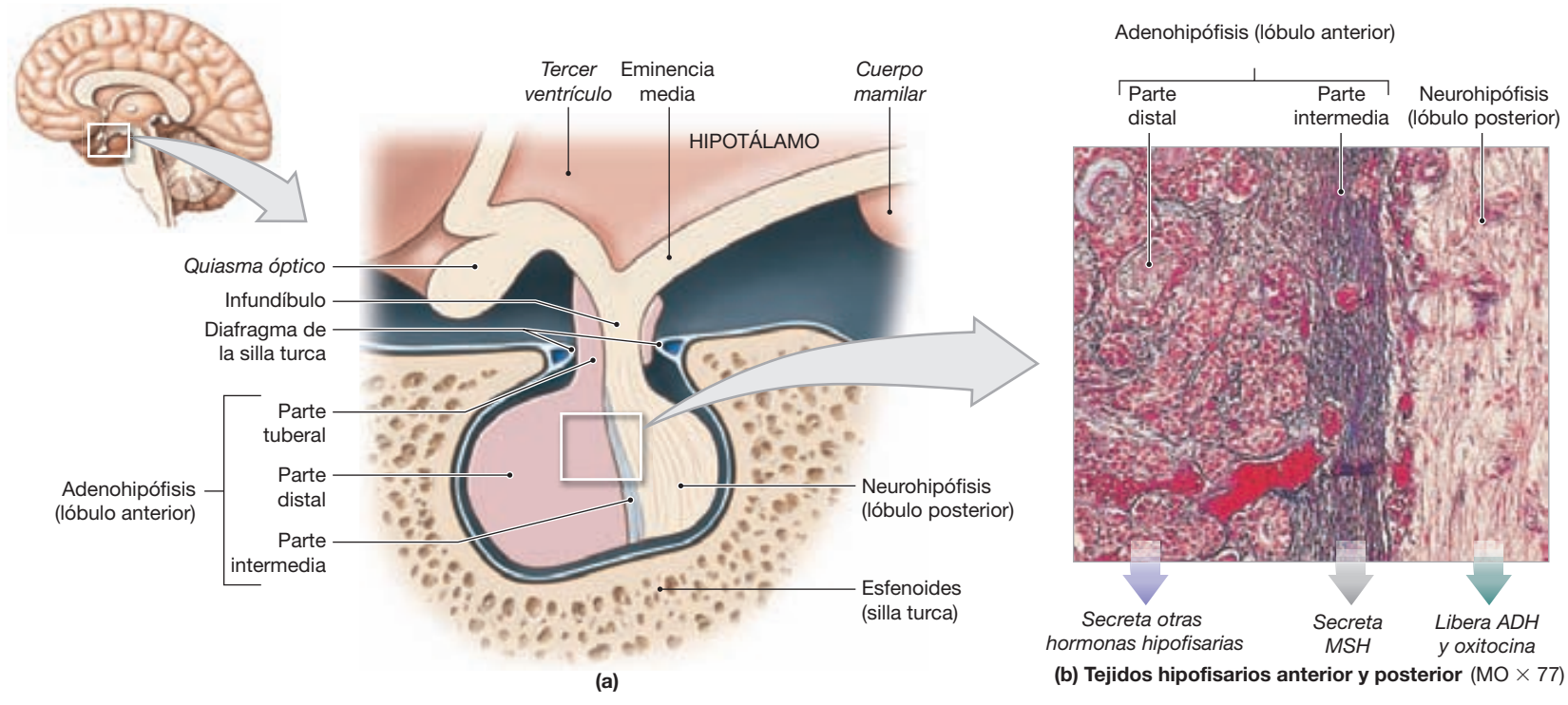
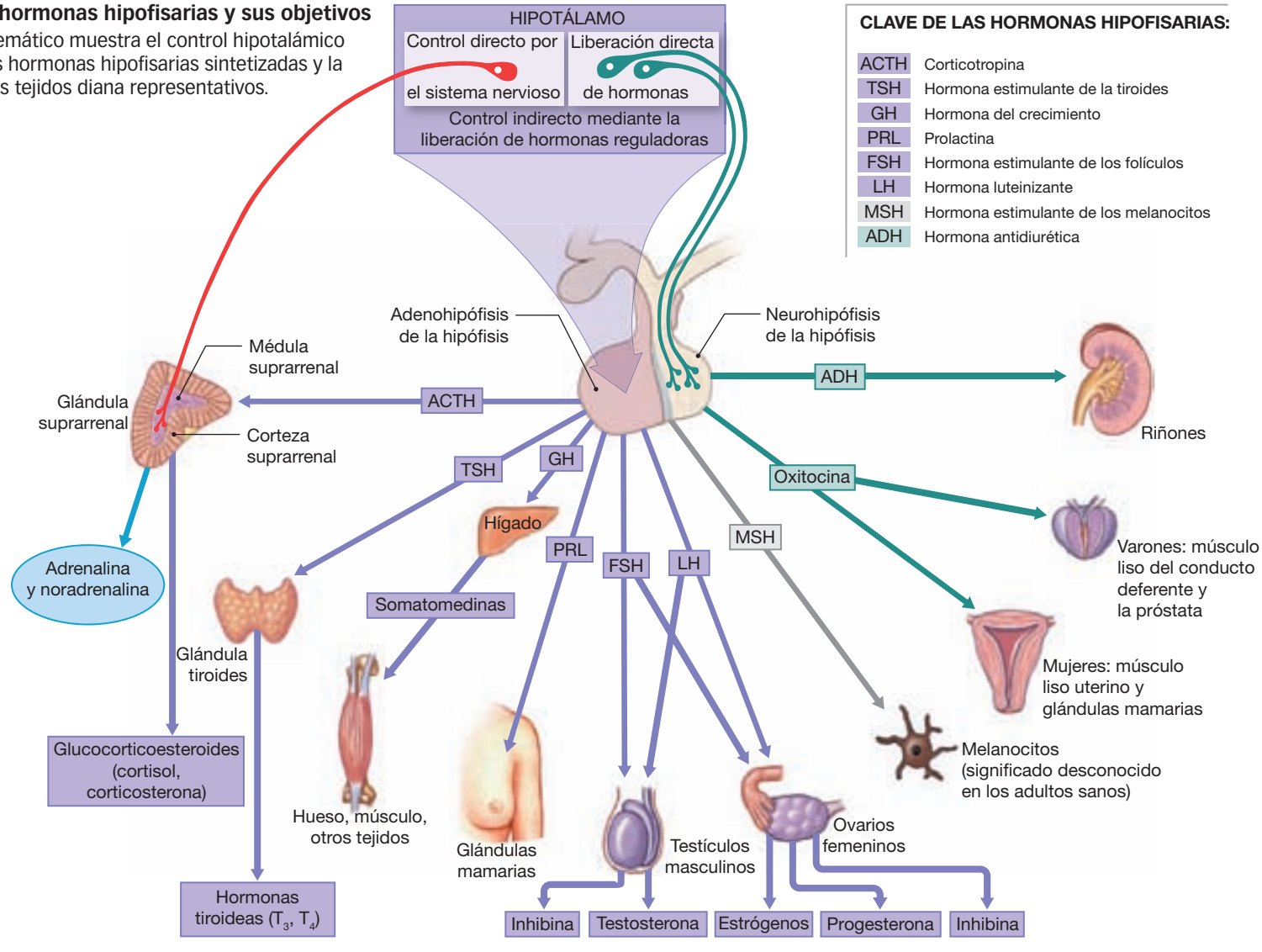


Figura 19.3 Anatomía macroscópica y organización histológica de la hipófisis y sus subdivisiones
(a) Relaciones entre la hipófisis y el hipotálamo. **(b)** Organización histológica de la hipófisis; se pueden ver la adenohipófisis y la neurohipófisis.

TABLA 19.1 Hormonas hipofisarias

Región/zona	Hormona	Objetivos	Efectos hormonales
ADENOHIPÓFISIS (LÓBULO ANTERIOR)			
Parte distal	Hormona estimulante de la tiroides (TSH)	Glándula tiroides	Secreción de hormonas tiroideas
	Corticotropina (ACTH)	Corteza suprarrenal (zona fasciculada)	Secreción de glucocorticoesteroides
	Gonadotropinas:		
	Hormona estimulante de los folículos (FSH)	Células foliculares de los ovarios	Secreción de estrógenos, desarrollo de los folículos
		Células de sostén de los testículos	Estimulación de la maduración espermática
	Hormona luteinizante (LH)	Células foliculares de los ovarios	Ovulación, formación del cuerpo amarillo, secreción de progesterona
		Células intersticiales de los testículos	Secreción de testosterona
	Prolactina (PRL)	Glándulas mamarias en la mujer	Producción de leche
	Hormona del crecimiento (GH)	Todas las células	Crecimiento, síntesis de proteínas, movilización y catabolismo de lípidos
Parte intermedia (inactiva en los adultos normales)	Hormona estimulante de los melanocitos (MSH)	Melanocitos	Aumento de la síntesis de melanina en la epidermis
NEUROHIPÓFISIS (LÓBULO POSTERIOR)			
Lóbulo neural (parte nerviosa)	Hormona antidiurética (ADH o vasopresina)	Riñones	Reabsorción de agua; aumento del volumen y la presión de la sangre
	Oxitocina (OT)	Útero, glándulas mamarias (mujer)	Contracciones del parto, eyección láctea
		Conducto deferente y próstata (varón)	Contracciones del conducto deferente y la próstata; eyección de secreciones

Figura 19.4 Las hormonas hipofisarias y sus objetivos
Este diagrama esquemático muestra el control hipotalámico sobre la hipófisis, las hormonas hipofisarias sintetizadas y la respuesta de algunos tejidos diana representativos.



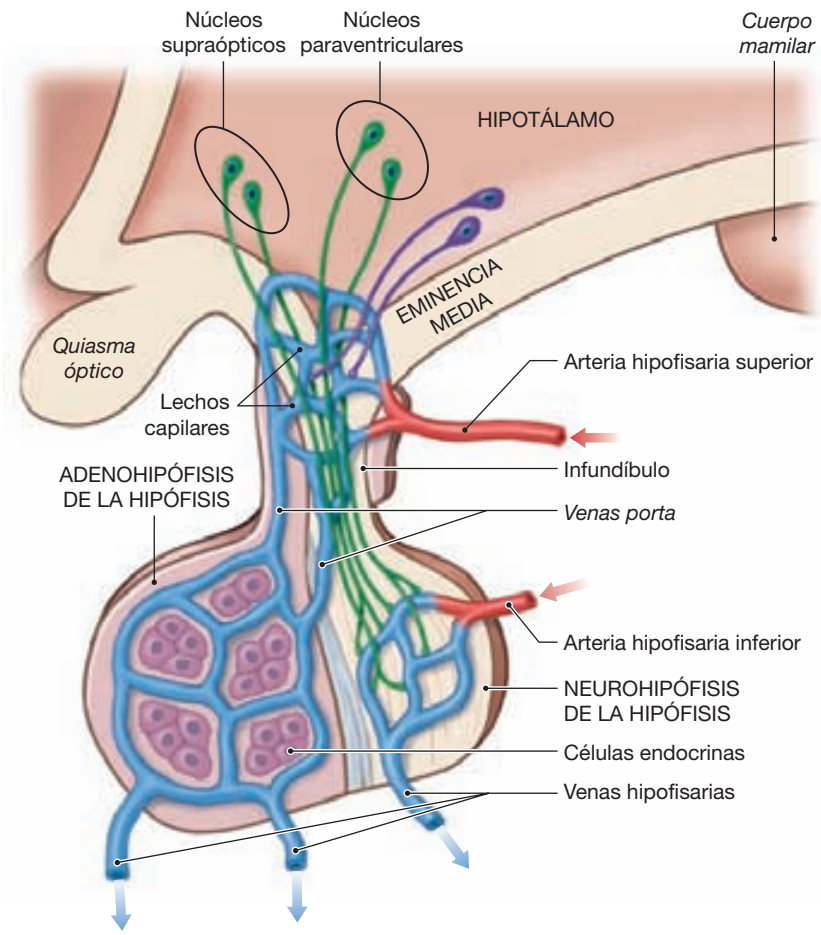


Figura 19.5 Hipófisis y sistema porta hipofisario
Esta configuración circulatoria constituye el sistema porta hipofisario, que permite el control de la adenohipófisis por las hormonas reguladoras hipotalámicas.

como la **parte tuberal,** que rodea la parte adyacente del infundíbulo (v. figura 19.3). Toda la adenohipófisis está abundantemente irrigada por una red de capilares muy extensa.

Sistema porta hipofisario [v. figura 19.5]

El hipotálamo controla la síntesis hormonal de la adenohipófisis mediante la secreción de determinados factores reguladores. Cerca de la inserción del infundíbulo, unas neuronas hipotalámicas liberan factores reguladores a los líquidos intersticiales circundantes. Esos factores reguladores pueden acceder fácilmente a la circulación de esta región debido a que los capilares presentan el aspecto de un «queso suizo» con aberturas entre las células endoteliales adyacentes. Son capilares **fenestrados** (*fenestra*, ventana), que sólo se encuentran en aquellas zonas en las que moléculas relativamente grandes entran o salen del sistema circulatorio. Este *plexo capilar primario* del suelo de la región tuberal recibe sangre de la **arteria hipofisaria superior** (v. figura 19.5).

Antes de salir del hipotálamo, la red capilar se une formando una serie de vasos de mayor calibre que discurren en espiral alrededor del infundíbulo hasta alcanzar la adenohipófisis. Una vez que llegan a este lóbulo, los vasos forman un *plexo capilar secundario* que se ramifica entre las células endocrinas (v. figura 19.5). Esta es una organización vascular inusual, ya que las arterias transportan generalmente sangre del corazón a una red capilar y las venas devuelven la sangre al corazón desde una red capilar. Sin embargo, los vasos situados entre el hipotálamo y el lóbulo anterior de la hipófisis transportan sangre de una red capilar a otra.

Los vasos sanguíneos que comunican dos redes capilares reciben el nombre de **vasos porta,** y el conjunto completo recibe el nombre de **sistema porta.** Los sistemas porta constituyen un medio muy eficaz de comunicación química que garantiza que la totalidad de la sangre que penetra en los vasos porta alcanzará las células diana correspondientes antes de regresar a la circulación general. No obstante, esta comunicación es estrictamente unidireccional, ya que cualquier sustancia química liberada por las células situadas «corriente abajo» debe completar una vuelta por el sistema cardiovascular antes de alcanzar los capilares situados al comienzo del sistema porta. Los vasos porta reciben el nombre de sus destinos; por esa razón, a esta red vascular se la conoce con la denominación de **sistema porta hipofisario.**

Nota clínica

Diabetes insípida Existen diferentes formas de diabetes, todas ellas caracterizadas por una producción excesiva de orina (poliuria). Aunque la diabetes puede deberse a una lesión física de los riñones, la mayoría de sus formas se deben a alguna anomalía endocrina. Las dos formas más importantes son la *diabetes insípida*, que explicaremos aquí, y la *diabetes mellitus*, que consideraremos más adelante.

La **diabetes insípida** se produce cuando la neurohipófisis, o lóbulo posterior de la hipófisis, no puede liberar cantidades adecuadas de hormona antidiurética (ADH). Los riñones no pueden retener el agua y se pierden grandes cantidades de agua por la orina. Debido a ello, una persona con diabetes insípida está siempre sedienta, pero su organismo no retiene los líquidos que ingiere. Los casos leves pueden no necesitar tratamiento, siempre que se mantenga el equilibrio entre la ingesta y las pérdidas urinarias de líquido y electrólitos. En los casos graves, las pérdidas de líquidos pueden ascender a 10 L diarios, produciéndose una deshidratación letal a menos que se inicie el tratamiento.
La administración de acetato de desmopresina (DDAVP), una forma sintética de ADH, en un pulverizador nasal permite concentrar la orina y reducir el volumen urinario. Este fármaco accede a la circulación sanguínea después de difundir a través del epitelio nasal. También constituye un tratamiento eficaz para la enuresis nocturna si se administra antes de acostarse.

Hormonas de la adenohipófisis [v. figura 19.4 y tabla 19.1]

Nuestro comentario se limitará a las siete hormonas cuyas funciones y mecanismos de control conocemos razonablemente bien. Todas estas hormonas menos una son sintetizadas por la parte distal de la adenohipófisis, y cinco de ellas regulan la producción hormonal de otras glándulas endocrinas. Son hormonas *trópicas* (*tropos*, vuelta). Sus nombres denotan sus actividades; en la tabla 19.1 y la figura 19.4 se resumen los detalles acerca de las mismas.

1. **Hormona estimulante de la tiroides (TSH):** actúa sobre la glándula tiroides e induce la liberación de hormonas tiroideas. La TSH es segregada por unas células denominadas *tirótropas*.
2. **Corticotropina (ACTH):** estimula la liberación de hormonas esteroides por la glándula suprarrenal. En concreto, la ACTH actúa sobre unas células que sintetizan las hormonas denominadas **glucocorticoesteroides (GC)** que regulan el metabolismo de la glucosa. Las células que secretan ACTH reciben el nombre de *corticótropas*.
3. **Hormona estimulante de los folículos (FSH):** estimula el desarrollo de los ovocitos (gametos femeninos) en los ovarios de las mujeres maduras. Este proceso comienza en el interior de unas estructuras denominadas folículos; la FSH estimula también la secreción de **estrógenos** por las células de los folículos. Los estrógenos (que son esteroides) constituyen las hormonas sexuales femeninas; el estrógeno más importante es el *estradiol*. En los varones, la secreción de FSH mantiene la producción espermática en los testículos. Las células que secretan FSH reciben el nombre de *gonadótropas*.

4. **Hormona luteinizante (LH):** induce la ovulación en las mujeres y estimula la secreción ovárica de **progestinas,** unas hormonas esteroides que preparan el organismo para una posible gestación. La progestina más importante es la *progesterona*. En los varones, la LH estimula la síntesis de hormonas sexuales masculinas, o **andrógenos,** (*andros*, varón), por las células intersticiales de los testículos. El andrógeno más importante es la *testosterona*. Debido a que regulan la actividad de los órganos sexuales masculinos y femeninos (gónadas), la FSH y la LH reciben el nombre de **gonadotropinas** (*tropos*, cambio). Estas hormonas son sintetizadas por unas células denominadas *gonadótropas*.
5. **Prolactina** (*pro-*, antes + *lac*, leche) **(PRL):** estimula el desarrollo de las glándulas mamarias y la producción de leche. La PRL ejerce el efecto dominante sobre las células glandulares, pero las glándulas mamarias están reguladas por la interacción de algunas otras hormonas, como los estrógenos, la progesterona, la hormona del crecimiento, los glucocorticoesteroides y las hormonas producidas por la placenta. No se conocen bien las funciones que desempeña la prolactina en los varones. La PRL es secretada por unas células denominadas *lactótropas*.
6. **Hormona del crecimiento (GH):** también conocida como *hormona del crecimiento humano (HGH)* o *somatotropina* (*soma*, cuerpo), estimula el crecimiento y la replicación celulares, acelerando la síntesis de proteínas. Esta hormona es segregada por unas células denominadas *somatótropas*. Aunque prácticamente todos los tejidos responden de alguna forma a la hormona del crecimiento, esta tiene un efecto especialmente marcado sobre el desarrollo esquelético y muscular. Las células hepáticas responden a la GH sintetizando y liberando somatomedinas, que son hormonas peptídicas. Las somatomedinas estimulan la síntesis proteica y el crecimiento celular en las fibras musculares estriadas, las células del cartílago y otras células diana. Los niños que no pueden sintetizar concentraciones adecuadas de hormona del crecimiento sufren un *fallo en el crecimiento hipofisario,* también conocido como *enanismo hipofisario*. Estas personas no experimentan el crecimiento y la maduración continuados que preceden y acompañan normalmente a la pubertad.
7. **Hormona estimulante de los melanocitos (MSH):** es la única hormona que libera la parte intermedia. Como su propio nombre indica, la MSH estimula los melanocitos de la piel, incrementando el ritmo de producción y distribución de melanina. La MSH es segregada por las células *corticótropas* (también conocidas como *células ACTH*) únicamente durante el desarrollo fetal, en los niños pequeños, en las gestantes y en algunos procesos patológicos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué región cerebral controla la síntesis de hormonas en la hipófisis?
2. ¿Qué es una célula diana? ¿Qué relación existe entre una hormona y sus células diana?
3. Identifique las dos regiones de la hipófisis y describa el control de la liberación hormonal en cada una de ellas.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Glándula tiroides [v. figura 19.6a]

La **glándula tiroides** describe una curva sobre la superficie anterior de la tráquea, justo por debajo del **cartílago tiroides** («con forma de escudo»), que domina la superficie anterior de la laringe (v. figura 19.6a). Debido a su posición, la glándula tiroides puede palparse fácilmente con los dedos; cuando algo va mal, puede incluso alcanzar un gran volumen. La glándula tiroides tiene un tamaño bastante variable, dependiendo de factores hereditarios, ambientales y nutricionales, aunque por término medio pesa unos 34 g. La glándula es de color rojo oscuro debido al gran número de vasos sanguíneos que irrigan las células glandulares. A cada lado, el aporte sanguíneo de la glándula procede en dos fuentes: 1) una *arteria tiroidea superior,* rama de la arteria carótida externa, y 2) una *arteria tiroidea inferior,* rama del tronco tirocervical. El drenaje venoso de la glándula discurre a través de las *venas tiroideas superior* y *media,* que desembocan en las venas yugulares internas, y de las *venas tiroideas inferiores,* que desembocan en las venas braquiocefálicas.

La glándula tiroides tiene forma de mariposa y está formada por dos **lóbulos** principales. La parte superior de cada lóbulo se extiende por la superficie lateral de la tráquea hasta el borde inferior del cartílago tiroides. En sentido inferior, los lóbulos de la glándula tiroides llegan hasta el segundo o el tercer anillo cartilaginoso de la tráquea. Ambos lóbulos están unidos por una conexión muy delgada, el **istmo.** La glándula tiroides está unida a los anillos traqueales por una cápsula muy fina que se prolonga en una serie de tabiques de tejido conjuntivo que dividen el tejido glandular y rodean los f*olículos tiroideos.*

Folículos y hormonas tiroideos [v. figuras 19.6b,c/10.7 y tabla 19.2]

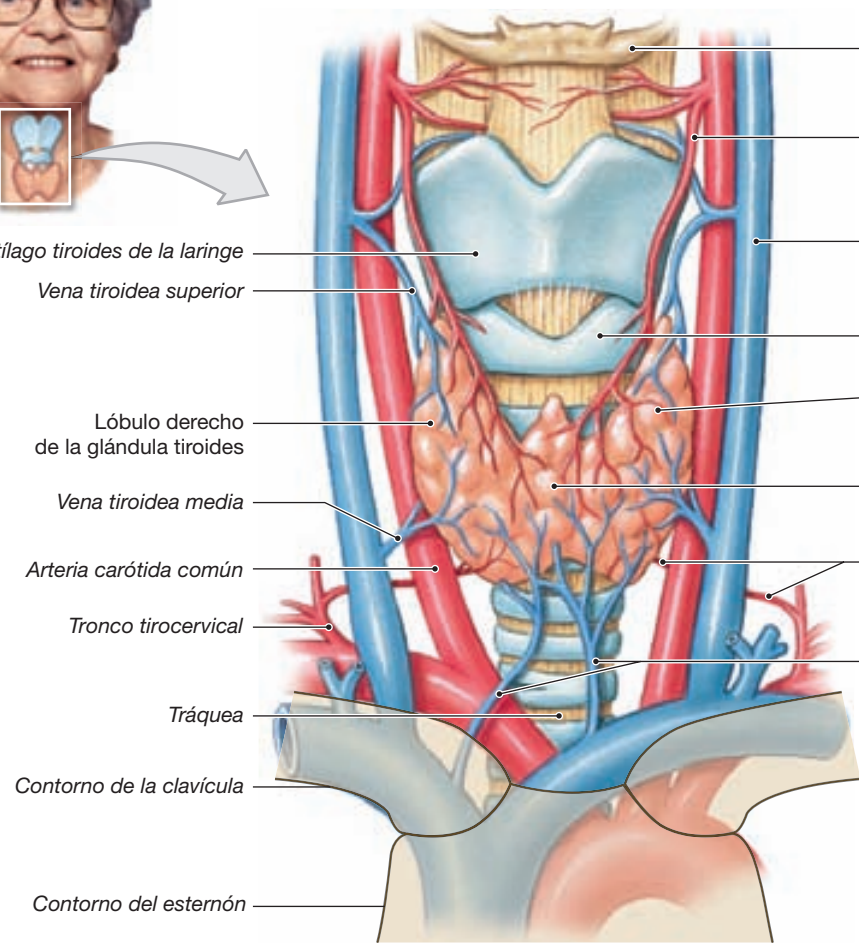
Los **folículos tiroideos** sintetizan, almacenan y secretan hormonas tiroideas. Cada uno de estos folículos tiene forma esférica y parece una pelota de tenis en miniatura. Los folículos tiroideos están recubiertos generalmente por un epitelio cúbico simple formado por *tirocitos T* (también conocidos como células foliculares) (v. figura 19.6b,c). El tipo de epitelio depende de la actividad glandular y va desde un epitelio escamoso simple en una glándula inactiva hasta un epitelio cilíndrico simple en una glándula con mucha actividad. Los tirocitos T rodean una **cavidad folicular** que contiene **coloide,** un líquido viscoso con grandes cantidades de proteínas en suspensión. Cada folículo está rodeado por una red de capilares que aportan nutrientes y hormonas reguladoras a las células foliculares y recogen sus secreciones y sus residuos metabólicos.

Las células foliculares poseen un gran número de mitocondrias y un retículo endoplásmico rugoso muy extenso. Como cabría esperar de esa descripción, estas células sintetizan proteínas activamente. Las células foliculares sintetizan una proteína globular denominada **tiroglobulina** y la secretan al coloide de los folículos tiroideos. La tiroglobulina contiene moléculas de tirosina, y algunos de estos aminoácidos se unen a moléculas de yodo y se convierten en hormonas tiroideas en el interior del folículo. Los tirocitos T transportan activamente iones de yodo (I^-) del líquido intersticial al interior de la célula. El yodo se convierte en una forma ionizada especial (I^+) y se une a las moléculas de tirosina de la tiroglobulina por mediación de enzimas presentes en la superficie luminal de las células foliculares. De este modo se generan dos hormonas tiroideas: la **tiroxina,** también conocida como **TX, T_4** o tetrayodotironina, y la **triyodotironina (T_3);** mientras permanecen en el coloide, estas hormonas forman parte de la estructura de la tiroglobulina. El tiroides es la única glándula endocrina que almacena extracelularmente su producción hormonal.

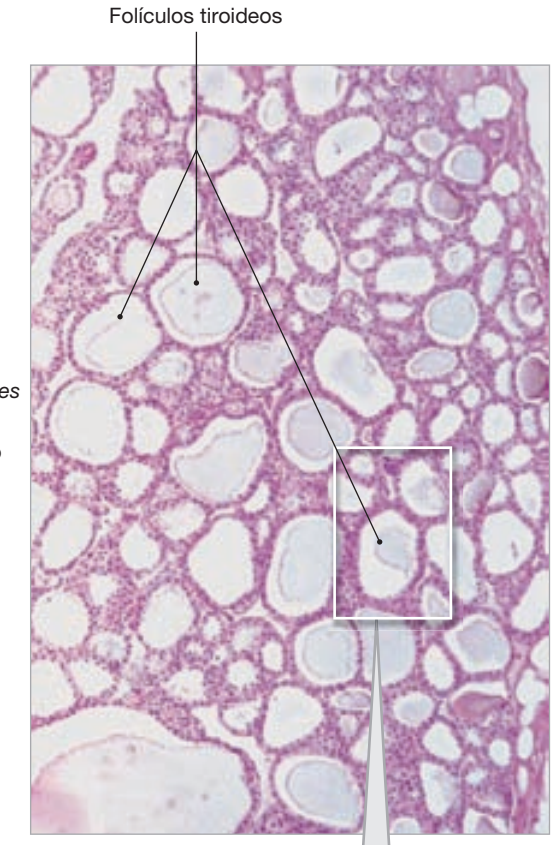
El principal factor que controla el ritmo de liberación de hormonas tiroideas en la concentración de hormona estimulante de la tiroides (TSH) en la sangre circulante (v. figura 19.7). Bajo la influencia de la **hormona liberadora de tirotropina (TRH)** secretada por el hipotálamo, la adenohipófisis libera TSH. Los tirocitos T responden extrayendo tiroglobulina de la luz folicular mediante un proceso de endocitosis. A continuación, escinden la proteína con la intervención de los lisosomas, liberando moléculas de T_3 y T_4. Seguidamente, estas hormonas abandonan la célula (fundamentalmente por un proceso de difusión) y pasan a la circulación. La tiroxina (T_4) representa aproximadamente el 90% de todas las secreciones tiroideas. Las dos hormonas tiroideas, que tienen efectos complementarios, incrementan el metabolismo celular y el consumo de oxígeno prácticamente en todas las células del organismo. Estas hormonas se describen en la tabla 19.2.

Figura 19.6 Anatomía y organización histológica de la glándula tiroides

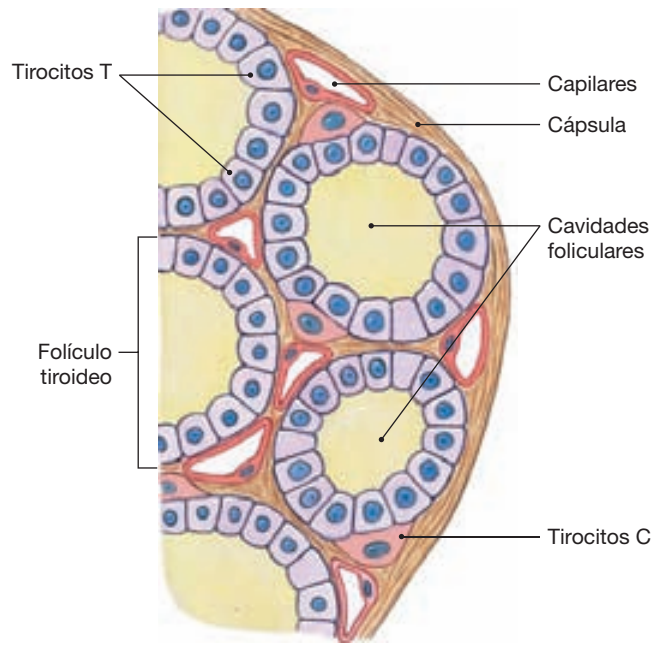
(a) Localización y anatomía de la glándula tiroides. **(b)** Organización histológica de la tiroides. **(c)** Detalles histológicos de la glándula tiroides; se pueden ver algunos folículos tiroideos y los dos tipos celulares del epitelio folicular.

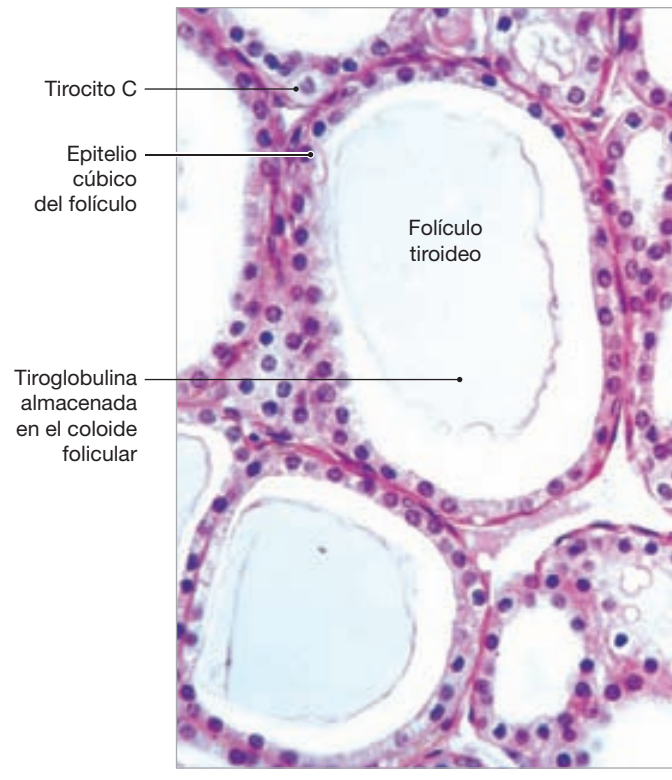


(a) Localización de la glándula tiroides, vista anterior



(b) Glándula tiroides MO × 122





(c) Folículos tiroideos MO × 260

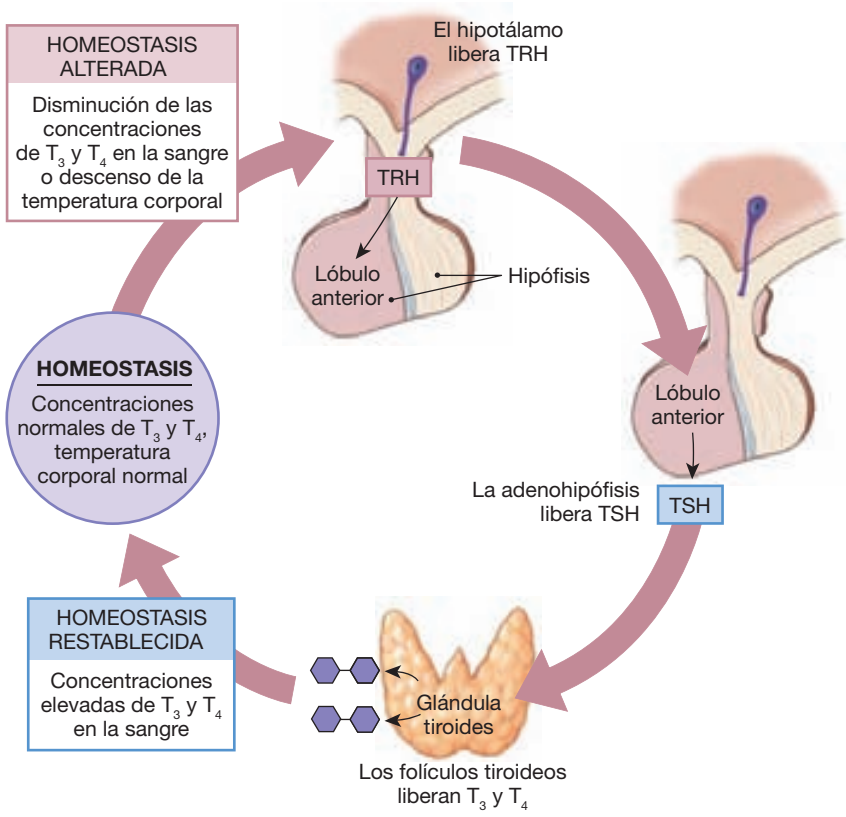

HOMEOSTASIS ALTERADA
Disminución de las concentraciones de T_3 y T_4 en la sangre o descenso de la temperatura corporal
El hipotálamo libera TRH
TRH
Lóbulo anterior
Hipófisis
Lóbulo anterior
La adenohipófisis libera TSH
TSH
HOMEOSTASIS
Concentraciones normales de T_3 y T_4, temperatura corporal normal
HOMEOSTASIS RESTABLECIDA
Concentraciones elevadas de T_3 y T_4 en la sangre
Glándula tiroides
Los folículos tiroideos liberan T_3 y T_4

Figura 19.7 Regulación de la secreción tiroidea
Este bucle de retroalimentación negativa es el responsable del control homeostático de la liberación de las hormonas tiroideas. TRH = hormona liberadora de tirotropina; TSH = hormona estimulante de la tiroides.

Tirocitos C de la glándula tiroides [v. figura 19.6c]

Existe un segundo tipo de células endocrinas dispersas entre las células foliculares cúbicas de la tiroides. Aunque están en contacto con la lámina basal, estas células no llegan hasta la luz. Son los **tirocitos C,** o *células parafoliculares*. Los tirocitos C pueden estar aislados o formar pequeños grupos. Son más grandes que las células foliculares cúbicas y no captan la tinción con tanta intensidad (**v. figura 19.6c**). Los tirocitos C sintetizan la hormona **calcitonina (CT).** La calcitonina interviene en la regulación de las concentraciones de iones de calcio en los líquidos corporales, especialmente: 1) durante la infancia, etapa en la que estimula el crecimiento de los huesos y el depósito de minerales en el esqueleto, y 2) durante determinadas condiciones de estrés fisiológico, como la inanición o la gestación. La calcitonina hace disminuir las concentraciones de calcio: 1) inhibiendo los osteoclastos, y 2) estimulando la excreción de iones de calcio por los riñones. Los efectos de la calcitonina son contrarrestados por los de la *hormona paratiroidea,* sintetizada por las glándulas paratiroides.

Glándulas paratiroides

[v. figura 19.6a/19.8]

Generalmente existen cuatro **glándulas paratiroides** de color pardo rojizo, del tamaño de un guisante, que se localizan en la superficie posterior de la glándula tiroides (**v. figura 19.8a**). Las glándulas suelen estar unidas a la superficie de la glándula tiroides por la cápsula tiroidea. Igual que la glándula tiroides, las glándulas paratiroides están rodeadas por una cápsula de tejido conjuntivo que penetra en el interior de la glándula, formando separaciones y unos *lóbulos* pequeños e irregulares. Las dos glándulas paratiroides superiores están irrigadas por las *arterias tiroideas superiores,* y las dos inferiores por las *arterias tiroideas inferiores* (**v. figura 19.6 a**). El drenaje venoso es el mismo que el de la glándula tiroides. En conjunto, las cuatro glándulas paratiroides pesan únicamente 1,6 g.

Las glándulas paratiroides contienen dos tipos de células. Las **células paratiroideas** (también denominadas **células principales**) (**v. figura 19.8b,c**) son células glandulares que sintetizan la **hormona paratiroidea (PTH);** los demás tipos celulares importantes (*células oxífilas* y *células de transición*) son probablemente células principales inmaduras o inactivas. Igual que los tirocitos C de la tiroides, las células paratiroideas controlan las concentraciones de calcio circulante. Cuando la calcemia desciende por debajo de los valores normales, las células paratiroideas secretan hormona paratiroidea. La PTH estimula los osteoclastos y los osteoblastos (aunque predominan los efectos osteoclásticos) y reduce la excreción urinaria de iones de calcio. También estimula la síntesis de *calcitriol*, una hormona renal que favorece la absorción intestinal de calcio. Las concentraciones de PTH permanecen elevadas hasta que la calcemia se normaliza. Se ha comprobado que la PTH permite reducir el avance de la osteoporosis en las personas mayores.

Timo [v. figura 19.1 y tabla 19.2]

El **timo** está sumergido en una masa de tejido conjuntivo del interior de la cavidad torácica, normalmente por detrás del esternón (**v. figura 19.1**, [p. 508]). En los neonatos y los niños pequeños el timo es relativamente grande, y a menudo se extiende desde la base del cuello hasta el borde superior del corazón. Aunque su tamaño relativo disminuye al crecer el niño, el timo sigue creciendo lentamente y alcanza su tamaño máximo justo antes de la pubertad, con un peso aproximado de 40 g. Tras la pubertad disminuye gradualmente de tamaño; a los 50 años de edad el timo puede pesar menos de 12 g.

El timo produce varias hormonas importantes para el desarrollo y el mantenimiento de las defensas inmunológicas normales (v. tabla 19.2). **Timosina** fue el nombre que se dio originalmente a un extracto de timo que estimu-

TABLA 19.2 Hormonas de la glándula tiroides, las glándulas paratiroides y el timo

Glándula/células	Hormonas	Objetivos	Efectos
TIROIDES			
Tirocitos T	Tiroxina (T_4) Triyodotironina (T_3)	La mayoría de las células	Potencia el uso de energía, el consumo de oxígeno, el crecimiento y el desarrollo
Tirocitos C	Calcitonina (CT)	Hueso y riñones	Reduce las concentraciones de calcio en los líquidos corporales; función incierta en los adultos sanos no gestantes
PARATIROIDES			
Células paratiroideas	Hormona paratiroidea (PTH)	Hueso y riñones	Incrementa las concentraciones de calcio en los líquidos corporales; aumenta la masa corporal
TIMO	«Timosinas» (*v. capítulo 23*)	Linfocitos	Maduración y competencia funcional del sistema inmunitario

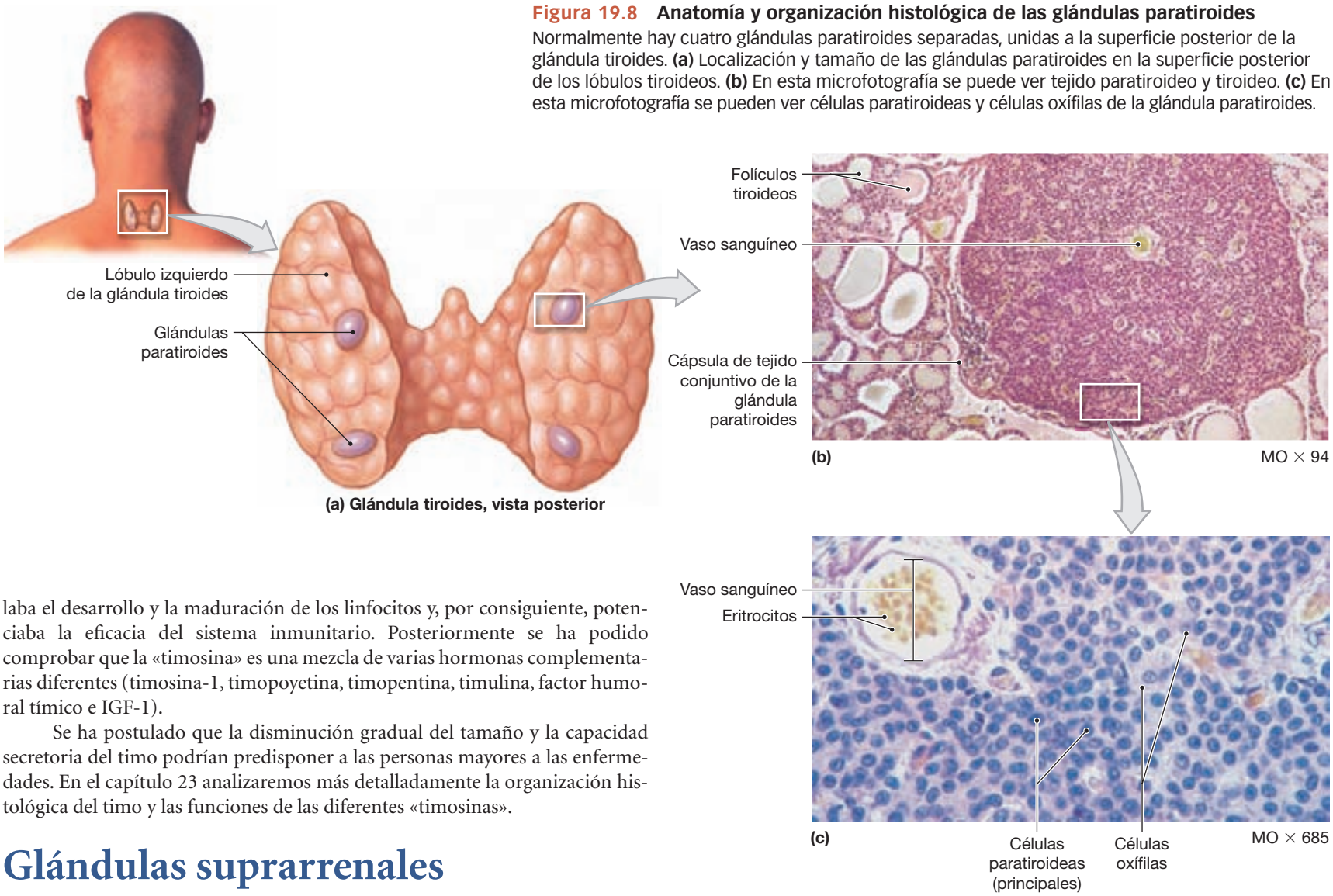


Figura 19.8 Anatomía y organización histológica de las glándulas paratiroides
Normalmente hay cuatro glándulas paratiroides separadas, unidas a la superficie posterior de la glándula tiroides. **(a)** Localización y tamaño de las glándulas paratiroides en la superficie posterior de los lóbulos tiroideos. **(b)** En esta microfotografía se puede ver tejido paratiroideo y tiroideo. **(c)** En esta microfotografía se pueden ver células paratiroideas y células oxífilas de la glándula paratiroides.

laba el desarrollo y la maduración de los linfocitos y, por consiguiente, potenciaba la eficacia del sistema inmunitario. Posteriormente se ha podido comprobar que la «timosina» es una mezcla de varias hormonas complementarias diferentes (timosina-1, timopoyetina, timopentina, timulina, factor humoral tímico e IGF-1).

Se ha postulado que la disminución gradual del tamaño y la capacidad secretoria del timo podrían predisponer a las personas mayores a las enfermedades. En el capítulo 23 analizaremos más detalladamente la organización histológica del timo y las funciones de las diferentes «timosinas».

Glándulas suprarrenales

[v. figura 19.9]

La **glándula suprarrenal** (*supra-* sobre + *renes*, riñones) es un órgano de forma piramidal y color amarillo que está unido firmemente al polo superior de cada riñón por una **cápsula** fibrosa muy densa (**v. figura 19.9a**). La glándula suprarrenal de cada lado se aloja entre el riñón, el diafragma y las arterias y venas principales que discurren por la pared dorsal de la cavidad abdominopélvica. Estas glándulas son órganos retroperitoneales, es decir, que se encuentran por detrás del revestimiento peritoneal. Como las demás glándulas endocrinas, las glándulas suprarrenales están muy vascularizadas. Cada glándula suprarrenal recibe sangre por ramas de la *arteria renal*, la *arteria frénica inferior* y una rama directa de la aorta (la *arteria suprarrenal media*). La sangre abandona las glándulas suprarrenales a través de las venas suprarrenales.

Una glándula suprarrenal típica pesa 7,5 g, aproximadamente. Generalmente es más pesada en los varones que en las mujeres, pero el tamaño puede variar considerablemente en función de las demandas secretorias. Desde un punto de vista estructural y funcional, la glándula suprarrenal puede dividirse en dos regiones, cada una de las cuales secreta diferentes tipos de hormonas, todas ellas dirigidas a regular el estrés: una **corteza** superficial y una **médula** interna (**v. figura 19.9b,c**).

Corteza de la glándula suprarrenal

[v. figura 19. 9c y tabla 19.3]

La corteza de la glándula suprarrenal debe su color amarillento a los lípidos que almacena, especialmente colesterol y diferentes ácidos grasos. La corteza produce más de dos docenas de hormonas esteroides diferentes, conocidas en conjunto como **esteroides corticosuprarrenales,** o simplemente **corticoesteroides.** Estas hormonas son vitales: si se destruyen o se extirpan las glándulas suprarrenales, hay que administrar corticoesteroides o la persona no podrá sobrevivir. Los corticoesteroides ejercen sus efectos sobre diferentes reacciones metabólicas determinando qué genes se transcriben en las células diana y a qué ritmo se transcriben.

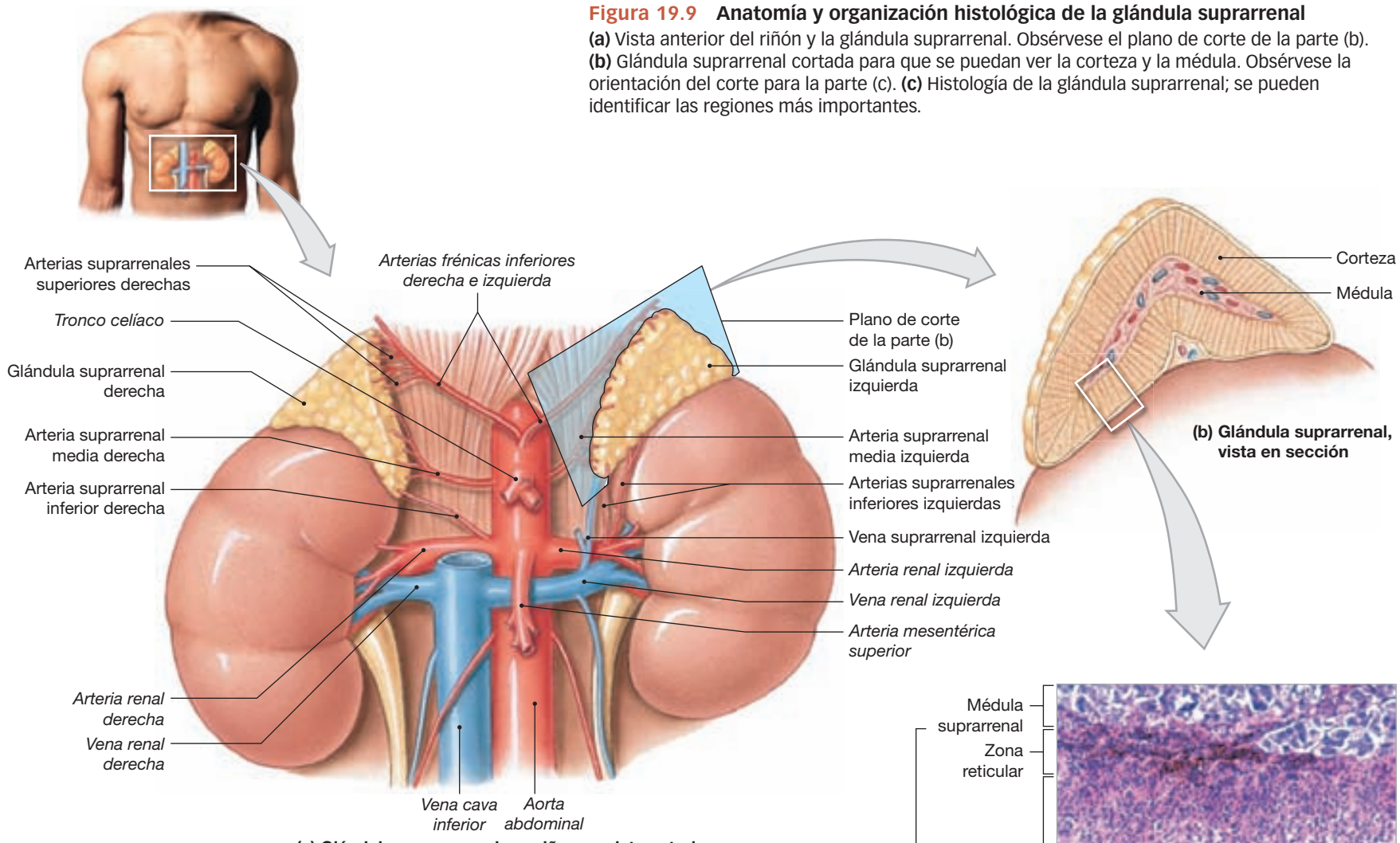
Por debajo de la cápsula se distinguen en la corteza tres regiones, o zonas: 1) una *zona glomerulosa* externa; 2) una *zona fasciculada* media, y 3) una *zona reticular* interna (**v. figura 19.9c**). Aunque cada una de estas zonas sintetiza hormonas esteroides diferentes (v. tabla 19.3), todas las células corticales poseen un retículo endoplásmico liso muy extenso para la síntesis de esteroides lipídicos. Esto contrasta mucho con el abundante retículo endoplásmico rugoso característico de las células glandulares que secretan proteínas, como las de la adenohipófisis o la glándula tiroides.

Zona glomerulosa [v. figura 19.9c]

La **zona glomerulosa** es la zona cortical más externa y representa aproximadamente el 15% del volumen cortical (**v. figura 19.9c**). Esta zona se extiende desde la cápsula hasta los cordones que irradian de la zona fasciculada subyacente. Un *glomérulo* es una bola o un nudo de pequeño tamaño en el que en las células endocrinas forman grupos muy densos.

La zona glomerulosa produce **mineralocorticoesteroides** (**MC**), hormonas esteroides que regulan la composición electrolítica de los líquidos corporales. El principal mineralocorticoesteroide es la **aldosterona,** que actúa sobre las células renales que regulan la composición iónica de la orina. Esta hormona

Figura 19.9 Anatomía y organización histológica de la glándula suprarrenal
(a) Vista anterior del riñón y la glándula suprarrenal. Obsérvese el plano de corte de la parte (b). **(b)** Glándula suprarrenal cortada para que se puedan ver la corteza y la médula. Obsérvese la orientación del corte para la parte (c). **(c)** Histología de la glándula suprarrenal; se pueden identificar las regiones más importantes.



(a) Glándulas suprarrenales y riñones, vista anterior

(c) Histología de la glándula suprarrenal MO × 140

induce la retención de iones de sodio (Na^+) y agua, reduciendo de ese modo las pérdidas de líquido por la orina. La aldosterona reduce además las pérdidas de sodio y agua a través de las glándulas sudoríparas y salivales y del tubo digestivo. Por otra parte, favorece la eliminación de iones de potasio (K^+) por la orina y otras vías. La zona glomerulosa secreta aldosterona cuando descienden las concentraciones sanguíneas de Na^+, aumentan las concentraciones sanguíneas de K^+ o entra en contacto con la hormona *angiotensina II* (*angeion*, vaso + *teinein*, estirar).

Zona fasciculada [v. figura 19. 9c]

La **zona fasciculada** (*fasciculus*, haz pequeño) comienza en el borde interno de la zona glomerulosa y se extiende hasta la médula (**v. figura 19. 9c**). Representa aproximadamente el 87% del volumen cortical. Sus células son más grandes, contienen más lípidos que las de la zona glomerulosa y tienen un citoplasma pálido y de aspecto espumoso debido a las gotitas de lípidos que contienen. Las células de la zona fasciculada forman cordones que irradian como los rayos solares desde la zona reticular. Los cordones contiguos están separados por vasos aplanados con paredes fenestradas.

La ACTH liberada por el lóbulo anterior de la hipófisis estimula la síntesis de esteroides en la zona fasciculada. Esta zona produce hormonas esteroides conocidas en conjunto como *glucocorticoesteroides (GC)* debido a sus efectos sobre el metabolismo de la glucosa. Los principales glucocorticoesteroides secretados por la corteza suprarrenal son el **cortisol** (también denominado *hidrocortisona*) y la **corticosterona;** el hígado convierte una parte del cortisol circulante en **cortisona,** otro glucocorticoesteroide activo. Estas hormonas aceleran la síntesis de glucosa y la formación de glucógeno, especialmente en el hígado.

Zona reticular [v. figura 19. 9c]

La **zona reticular** (*reticulum*, red) forma una franja estrecha entre la zona fasciculada y el límite externo de la médula suprarrenal (**v. figura 19.9c**). Las células de la zona reticular son mucho más pequeñas que las de la médula; debido a ello, resulta relativamente fácil distinguir el límite entre ambas. En total, la zona reticular representa sólo el 7% del volumen celular total de la corteza suprarrenal. Las células endocrinas de la zona reticular forman una red ramificada y plegada con una extensa vascularización capilar. Normalmente, la zona reticular secreta pequeñas cantidades de hormonas sexuales denominadas *andrógenos*. Los andrógenos suprarrenales estimulan el desarrollo del vello púbico en los chicos y las chicas antes de la pubertad. Aunque no tienen mucha

importancia en los varones adultos, cuyos testículos producen andrógenos en cantidades relativamente grandes, en las mujeres adultas los andrógenos suprarrenales incrementan la masa muscular, estimulan la formación de células sanguíneas y mantienen la libido.

Médula de la glándula suprarrenal

[v. figura 19. 9b,c y tabla 19.3]

El límite entre la corteza y la médula de la glándula suprarrenal no forma una línea recta (v. figura 19. 9b,c), y el tejido conjuntivo de sostén y los vasos sanguíneos están muy interconectados. La médula tiene un color pardo rojizo debido en parte a los numerosos vasos sanguíneos de esta zona. Las células **cromafines,** o **feocromocitos,** son unas células grandes y redondeadas de la médula que se parecen a las neuronas de los ganglios simpáticos. Estas células están inervadas por fibras simpáticas preganglionares; la activación simpática a través de los nervios esplácnicos pone en marcha la actividad secretoria de estas neuronas ganglionares modificadas [p. 458].

La médula suprarrenal contiene dos grupos de células endocrinas: uno de ellos secreta adrenalina (epinefrina) y el otro noradrenalina (norepinefrina). La médula secreta aproximadamente tres veces más adrenalina que noradrenalina [p. 458]. Su secreción activa el consumo energético celular y moviliza las reservas de energía. Este efecto combinado potencia la fuerza y la resistencia musculares (v. tabla 19.3). Los cambios metabólicos que comienzan tras la liberación de las catecolaminas alcanzan su máximo nivel 30 segundos después de la estimulación suprarrenal, y persisten durante varios minutos. Debido a ello, los efectos producidos por la estimulación de la médula suprarrenal son mucho más duraderos que los otros signos de la activación simpática.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Cuando se extirpa la glándula tiroides a una persona, los signos de una disminución de la concentración de hormonas tiroideas no aparecen hasta 1 semana después, aproximadamente. ¿Por qué?
2. ¿Qué importante mineral disminuye en la sangre cuando se suprimen las glándulas paratiroides?
3. Un trastorno de la glándula suprarrenal impide que Bill retenga iones de sodio en su líquidos corporales. ¿Qué región de esta glándula está afectada y cuál es la hormona deficitaria?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Funciones endocrinas de los riñones y el corazón

Los riñones y el corazón producen diferentes hormonas, la mayoría de las cuales intervienen en la regulación de la presión arterial y del volumen sanguíneo. Los riñones sintetizan *renina,* una enzima (a menudo denominada hormona), y dos hormonas: la *eritropoyetina,* un péptido, y el *calcitriol,* un esteroide. Una vez en la circulación, la **renina** convierte el **angiotensinógeno** (una proteína inactiva sintetizada por el hígado) en **angiotensina I.** En los capilares pulmonares, este compuesto se convierte en **angiotensina II,** la hormona que estimula la secreción suprarrenal de aldosterona por la corteza suprarrenal. La **eritropoyetina** (**EPO**) estimula la producción de eritrocitos por la médula ósea. Esta hormona se libera cuando disminuye la presión arterial o el oxigeno sanguíneo en los riñones. La EPO estimula la producción y maduración de los eritrocitos, incrementando de ese modo el volumen sanguíneo y la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

El **calcitriol** es una hormona esteroide liberada por el riñón en respuesta a la hormona paratiroidea (PTH). La síntesis de calcitriol depende de la disponibilidad de un esteroide parecido, el *colecalciferol* (vitamina D_3), que puede sintetizarse en la piel o absorberse de los alimentos. En ambos casos, el colecalciferol pasa de la circulación sanguínea al hígado y se convierte allí en un producto intermedio que pasa a la circulación y es absorbido por los riñones, que lo convierten en calcitriol. Se utiliza la denominación *vitamina D* para referirse a todo un grupo de esteroides relacionados que incluye el calcitriol, el colecalciferol y diversos intermediarios.

La función mejor conocida del calcitriol es la estimulación de la absorción de los iones de calcio y de fosfato en todo el tubo digestivo. La PTH estimula la liberación de calcitriol y, de este modo, influye directamente en la absorción intestinal de calcio. No se conocen bien los efectos del calcitriol sobre el sistema esquelético y los riñones.

Las células musculares cardíacas sintetizan el **péptido natriurético auricular** (**ANP**) y el **péptido natriurético cerebral** (**BNP**) en respuesta a los aumentos de la presión arterial o el volumen sanguíneo. Ambos péptidos suprimen la liberación de ADH y aldosterona y favorecen la excreción renal de agua y sodio. Estos efectos reducen gradualmente la presión arterial y la volemia.

El páncreas y otros tejidos endocrinos del aparato digestivo

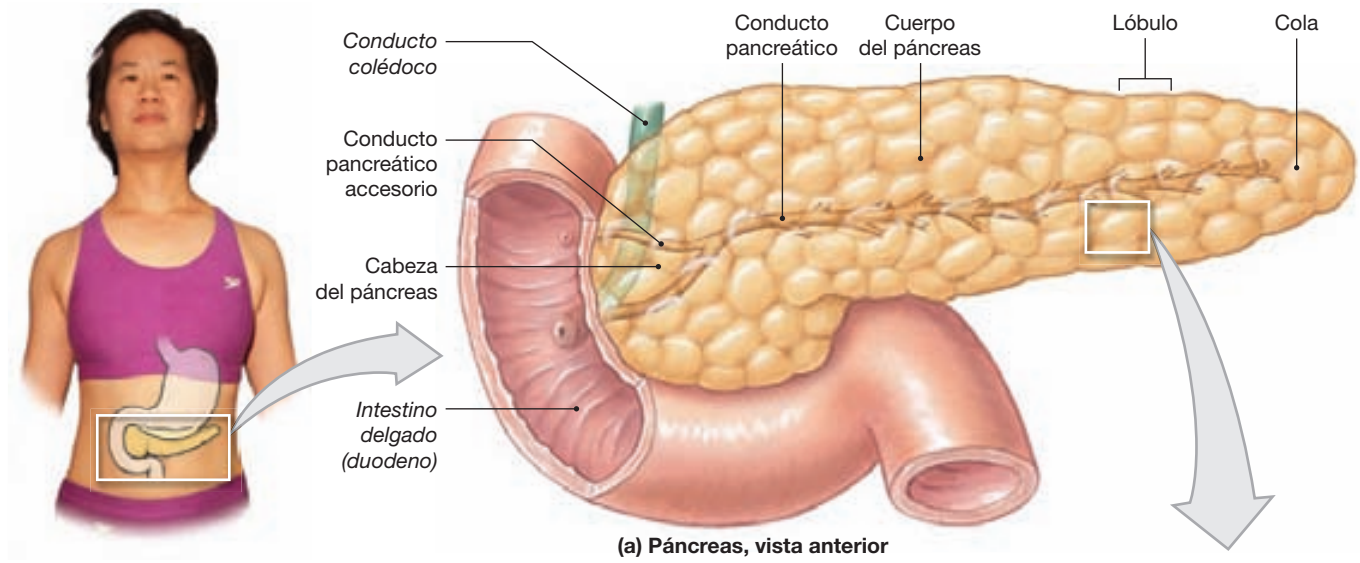
El páncreas, la mucosa del tubo digestivo y el hígado producen diferentes secreciones exocrinas que son esenciales para la normal digestión de los alimentos. Aunque el sistema nervioso autónomo puede alterar el ritmo de las actividades digestivas, la mayoría de los procesos digestivos están controlados localmente por estos órganos. Los diferentes órganos digestivos se comunican entre sí mediante las hormonas que se describen en el capítulo 25. En este apartado centraremos nuestra atención en el páncreas, un órgano digestivo que sintetiza hormonas que influyen en las operaciones metabólicas de todo el organismo.

Páncreas [v. figura 19.10 y tabla 19.4]

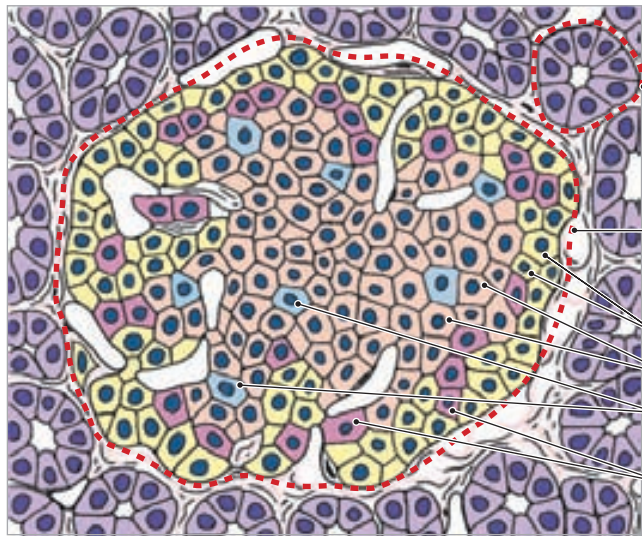
El **páncreas** es una glándula mixta con actividad exocrina y endocrina. Se localiza en el interior de la cavidad abdominopélvica, en el asa en forma de J entre

TABLA 19.3 Hormonas suprarrenales

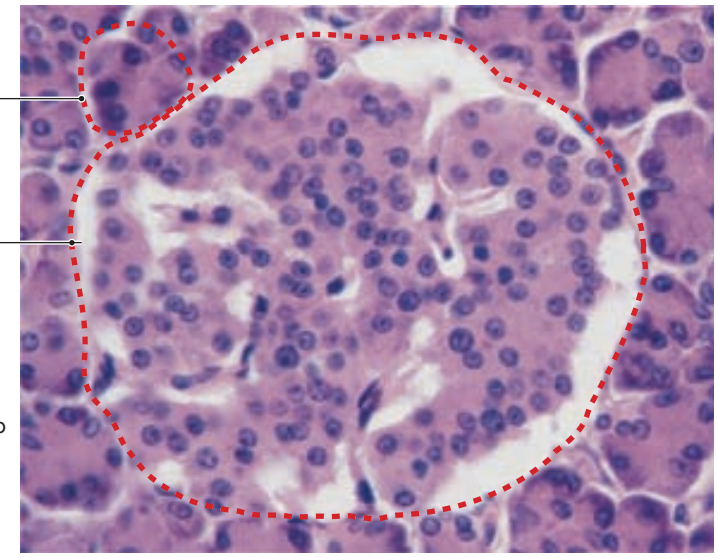
Región/zona	Hormonas	Objetivos	Efectos
CORTEZA			
Zona glomerulosa	Mineralocorticoesteroides (MC), fundamentalmente aldosterona	Riñones	Incrementan la reabsorción renal de iones de sodio y agua (especialmente en presencia de ADH) y aceleran la excreción urinaria de iones de potasio
Zona fasciculada	Glucocorticoesteroides (GC): cortisol (hidrocortisona), corticosterona; el cortisol se convierte en cortisona y es liberado por el hígado	Mayoría de las células	Liberan aminoácidos de los músculos estriados, lípidos del tejido adiposo; estimulan la formación de glucógeno y glucosa hepáticos; estimulan el uso periférico de lípidos (conservación de glucosa); efectos antiinflamatorios
Zona reticular	Andrógenos		Funciones desconocidas en condiciones normales
MÉDULA	Adrenalina, noradrenalina	Mayoría de las células	Incrementan la actividad cardíaca, la presión arterial, la degradación de glucógeno y la glucemia; liberación de lípidos por el tejido adiposo (*v. capítulo 17*).



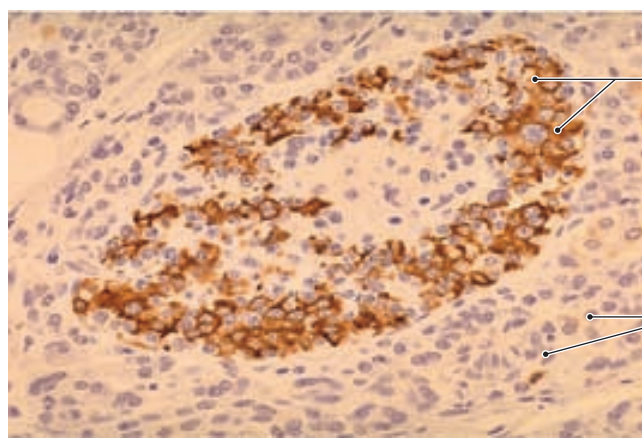
(a) Páncreas, vista anterior



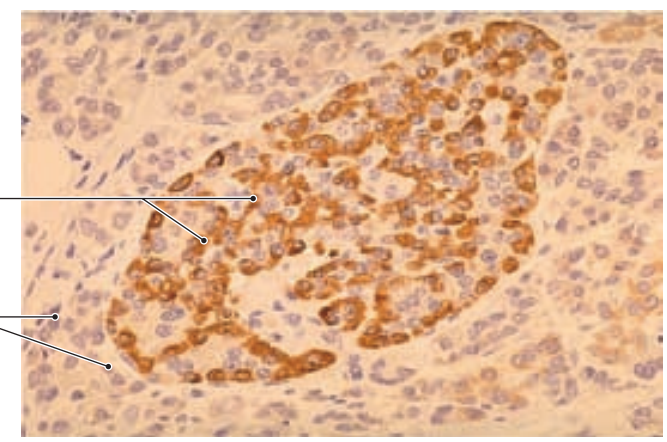
(b) Islote pancreático



LM × 400



(c) Células alfa MO × 184



(d) Células beta MO × 184

Figura 19.10 Anatomía y organización histológica del páncreas

Este órgano, dominado por las células exocrinas, contiene agrupaciones de células endocrinas conocidas como islotes pancreáticos. **(a)** Anatomía macroscópica del páncreas. **(b)** Histología general de los islotes pancreáticos. **(c)** y **(d)** Se pueden emplear técnicas especiales de tinción histológica para diferenciar entre las células alfa (c) y las células beta (d) de los islotes pancreáticos.

Nota clínica

Diabetes mellitus La **diabetes mellitus** (*mellitum*, miel) se caracteriza por unas concentraciones de glucosa elevadas que sobrepasan la capacidad de reabsorción de los riñones (se denomina *hiperglucemia* a la presencia de concentraciones anormalmente elevadas de glucosa en la sangre en general). La glucosa aparece en la orina (*glucosuria*) y generalmente se observa una producción excesiva de orina (*poliurua*).

La diabetes mellitus puede deberse a anomalías genéticas, habiéndose identificado algunos de los genes responsables. Las mutaciones que dan lugar a una producción insuficiente de insulina, la síntesis de moléculas de insulina anormales o la producción de proteínas receptoras defectuosas provocan síntomas comparables. En estas condiciones, la obesidad acelera el comienzo y la progresión de la enfermedad. La diabetes mellitus puede deberse también a otros procesos patológicos, lesiones, trastornos inmunológicos o desequilibrios hormonales. Existen dos tipos fundamentales de diabetes mellitus: **diabetes insulinodependiente (tipo 1)** y **diabetes no insulinodependiente (tipo 2).** La diabetes de tipo 1 puede controlarse con resultados variables mediante la administración de insulina por inyección o por infusión con una bomba de insulina. La diabetes de tipo 2 responde mejor a las restricciones dietéticas.

Debido probablemente a que no pueden estabilizar adecuadamente las concentraciones de glucosa (ni siquiera con el tratamiento), las personas con diabetes mellitus suelen desarrollar problemas médicos crónicos. Estos problemas se deben a que los tejidos implicados sufren una crisis energética: en pocas palabras, la mayoría de los tejidos responden como lo harían durante la inanición crónica, metabolizando lípidos e incluso proteínas debido a que no pueden absorber glucosa de sus alrededores. Los trastornos médicos relacionados más frecuentemente con la diabetes son:

- La proliferación de capilares y las hemorragias en la retina pueden causar ceguera parcial o completa. Este trastorno se denomina *retinopatía diabética*.
- Se producen cambios en la transparencia del cristalino, que dan lugar a cataratas.
- El riñón sufre pequeñas hemorragias e inflamaciones que provocan cambios degenerativos y pueden conducir a la insuficiencia renal. Este trastorno, conocido como *nefropatía diabética*, es la principal causa de insuficiencia renal. El tratamiento con fármacos que mejoran el flujo sanguíneo renal puede ralentizar el avance de la insuficiencia renal.
- Se producen problemas neurales, como neuropatías periféricas y alteraciones en las funciones neurovegetativas. Estos trastornos, conocidos como *neuropatía diabética*, se deben probablemente a alteraciones en el aporte de sangre a los tejidos neurales [p. 465].
- Los cambios degenerativos en la circulación cardíaca pueden dar lugar a ataques cardíacos precoces. En un determinado grupo de edad, los ataques cardíacos son 3-5 veces más frecuentes en los diabéticos que en los no diabéticos.
- Otros cambios en el sistema vascular pueden alterar el flujo sanguíneo normal a los segmentos distales de las extremidades. Por ejemplo, una disminución del flujo sanguíneo a los pies puede causar muerte tisular, úlceras, infecciones y pérdida de los dedos o de una parte importante de uno o ambos pies.

el estómago y el intestino delgado (**v. figura 19.10a**). Es un órgano alargado, de color rosado, con una consistencia nodular o grumosa. El páncreas adulto mide entre 20 y 25 cm y pesa unos 80 g. En el capítulo 25 se describe con detalle la anatomía del páncreas, ya que el **páncreas exocrino** (aproximadamente el 99% del volumen pancreático) produce grandes cantidades de un líquido rico en enzimas digestivas que pasa al tubo digestivo a través de un conducto secretorio prominente.

El **páncreas endocrino** está constituido por pequeños grupos de células dispersos por toda la glándula, cada uno de los cuales está rodeado por células exocrinas. Estos grupos, conocidos como **islotes pancreáticos,** o *islotes de Langerhans,* representan sólo el 1% de la población celular pancreática (**v. figura 19.10b**). No obstante, en el páncreas normal existen aproximadamente 2 millones de islotes.

Como otros tejidos endocrinos, los islotes están rodeados por una extensa red de capilares fenestrados que transportan sus hormonas a la circulación. El páncreas recibe sangre de dos arterias importantes, las *arterias pancreaticoduodenales* y las *arterias pancreáticas*. La sangre venosa drena a la *vena porta hepática* (en el capítulo 22 se describe la circulación de entrada y salida de los principales órganos). Los islotes están inervados además por el sistema nervioso autónomo, a través de ramas del *plexo celíaco* [p. 456].

Cada islote contiene cuatro tipos de células fundamentales:

1. Las **células alfa** sintetizan la hormona **glucagón,** que incrementa las concentraciones de glucosa en la sangre acelerando la degradación de glucógeno y la liberación de glucosa por el hígado (**v. figura 19.10b**).
2. Las **células beta** sintetizan la hormona **insulina,** que reduce la glucemia incrementando la captación y la utilización de la glucosa por la mayoría de las células del organismo (**v. figura 19.10b**).
3. Las **células delta** sintetizan la hormona **somatostatina** (*hormona inhibidora de la hormona del crecimiento),* que inhibe la producción y la secreción de glucagón e insulina y ralentiza la absorción de los alimentos y la secreción enzimática en todo el tubo digestivo.
4. Las **células F** sintetizan el **polipéptido pancreático** (**PP**). Esta hormona inhibe las contracciones vesiculares y regula la producción de algunas enzimas pancreáticas; puede intervenir en el control de la absorción de nutrientes a través del tubo digestivo.

Las células alfa y beta del páncreas son sensibles a las concentraciones sanguíneas de glucosa, y su actividad reguladora no está controlada directamente por otros componentes endocrinos o nerviosos. A pesar de ello, como las células de los islotes son muy sensibles a las fluctuaciones de la glucemia, cualquier hormona que altere las concentraciones de glucosa en la sangre influirá indirectamente en la síntesis de la insulina y el glucagón. En la tabla 19.4 se resumen las principales hormonas pancreáticas.

Tejidos endocrinos del aparato reproductor

Los tejidos endocrinos del aparato reproductor se limitan fundamentalmente a las gónadas masculinas y femeninas: testículos y ovarios, respectivamente. En el capítulo 27 se describe la anatomía de los órganos reproductores.

Testículos [v. tabla 19.5]

En el varón, las **células intersticiales** de los testículos sintetizan andrógenos. El andrógeno más importante es la **testosterona.** Esta hormona estimula la producción de espermatozoides funcionales, mantiene las glándulas secretorias del aparato reproductor masculino, influye en las características sexuales secundarias y estimula el crecimiento muscular (v. tabla 19.5). Durante el desarrollo embrionario, la producción de testosterona influye en el desarrollo anatómico de los núcleos hipotalámicos del SNC.

Las **células de sostén** (también conocidas como **células sustentaculares**), que están directamente relacionadas con la formación de espermatozoides

TABLA 19.4 Hormonas del páncreas

Estructura/células	Hormonas	Objetivos principales	Efectos
ISLOTES PANCREÁTICOS			
Células alfa	Glucagón	Hígado, tejido adiposo	Movilización de las reservas de lípidos; síntesis de glucosa y degradación de glucógeno en el hígado; aumento de las concentraciones de glucosa en sangre
Células beta	Insulina	Todas las células excepto las del cerebro, los riñones, el epitelio del tubo digestivo y los eritrocitos	Facilitación de la captación de glucosa por las células; estimulación de la formación y el almacenamiento de lípidos y glucógeno; reducción de las concentraciones de glucosa en sangre
Células delta	Somatostatina	Células alfa y beta, epitelio digestivo	Inhibición de la secreción de insulina y glucagón
Células F	Polipéptido pancreático (PP)	Vesícula y páncreas, posiblemente tubo digestivo	Inhibe las contracciones vesiculares; regula la síntesis de algunas enzimas pancreáticas; puede controlar la absorción de nutrientes

TABLA 19.5 Hormonas del aparato reproductor

Estructura/células	Hormonas	Objetivos principales	Efectos
TESTÍCULOS			
Células intersticiales	Andrógenos	La mayoría de las células	Sustenta la maduración funcional de los espermatozoides; síntesis de proteínas en el músculo estriado; características sexuales secundarias masculinas y comportamientos asociados
Células de sostén	Inhibina	Lóbulo anterior de la hipófisis	Inhibe la secreción de FHS
OVARIOS			
Células foliculares	Estrógenos (especialmente estradiol)	La mayoría de las células	Sustenta la maduración de los folículos; características sexuales secundarias femeninas y comportamientos asociados
	Inhibina	Lóbulo anterior de la hipófisis	Inhibe la secreción de FHS
Cuerpo lúteo	Progestinas (especialmente progesterona)	Útero, glándulas mamarias	Prepara el útero para la implantación; prepara las glándulas mamarias para las funciones secretorias
	Relaxina	Sínfisis del pubis, útero, glándulas mamarias	Relaja la sínfisis del pubis; relaja los músculos uterinos (cervicales); estimula el desarrollo de las glándulas mamarias

funcionales, secretan otra hormona denominada **inhibina.** La síntesis de inhibina (por estímulo de la FSH) deprime la secreción de FSH por el lóbulo anterior de la hipófisis. Durante la vida adulta, estas dos hormonas interactúan para mantener una producción espermática normal.

Ovarios [v. tabla 19.5]

En los ovarios, los ovocitos empiezan a madurar para convertirse en los gametos (células sexuales) femeninos en unas estructuras especializadas denominadas **folículos.** El proceso de maduración comienza en respuesta a la estimulación de la FSH. Las células foliculares que rodean los ovocitos producen estrógenos, especialmente la hormona **estradiol.** Estas hormonas esteroides sustentan la maduración de los ovocitos y estimulan el crecimiento de la mucosa uterina (v. tabla 19.5). Por estímulo de la FSH, los folículos activos secretan inhibina, que suprime la liberación de FSH por medio de un mecanismo de retroalimentación comparable al descrito para los varones.

Una vez que se produce la ovulación, el resto de las células foliculares se reorganizan formando el **cuerpo lúteo,** que libera una mezcla de estrógenos y progestinas, especialmente **progesterona.** La progesterona acelera el tránsito del ovocito a través de la trompa uterina y prepara el útero para la llegada del embrión en desarrollo. En la tabla 19.5 puede encontrarse un resumen de la información sobre las hormonas reproductoras.

Glándula pineal [v. figura 19.1]

La **glándula pineal,** o *epífisis cerebral,* es una glándula pequeña, de color rojo y que tiene forma de piña (**v. figura 19.1**) constituye una parte del epitálamo [p. 405]. La glándula pineal contiene neuronas, células gliales y especialmente células secretorias denominadas **pinealocitos.** Los pinealocitos sintetizan la hormona **melatonina,** que deriva del neurotransmisor *serotonina*. La melatonina ralentiza la maduración de los espermatozoides, los ovocitos y los órganos reproductores inhibiendo la síntesis de un factor liberador hipotalámico que estimula la secreción de FSH y LH. En la glándula pineal penetran ramas colaterales de las vías visuales, que influyen en el ritmo de producción de melatonina. La producción de melatonina aumenta por la noche y disminuye durante el día. Aparentemente, este ciclo influye considerablemente en la regulación de los *ritmos circadianos* (nuestros ciclos naturales de vigilia-sueño) [pp. 405, 408]. Esta hormona constituye también un antioxidante de gran potencia que tiene la capacidad de proteger los tejidos del SNC frente a las toxinas generadas por las neuronas activas y las células gliales.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del sistema endocrino, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Nota clínica

Endocrinopatías Las endocrinopatías o trastornos endocrinos pueden deberse a diferentes razones, como alteraciones en las glándulas endocrinas, en los mecanismos reguladores endocrinos o neurales o en los tejidos diana. Por ejemplo, las concentraciones de una hormona pueden aumentar debido a que sus órganos diana se han vuelto menos sensibles, a que se ha formado un tumor entre las células glandulares, o a que algo ha interferido en el mecanismo normal de control por retroalimentación. Para referirse a los trastornos endocrinos, los clínicos utilizan el prefijo *hiper-* para referirse a una síntesis hormonal excesiva e *hipo-* cuando se trata de una síntesis insuficiente de hormona.

La mayoría de los trastornos endocrinos se deben a problemas en las propias glándulas endocrinas. El resultado habitual es una hiposecreción o producción de cantidades insuficientes de una hormona determinada. La hiposecreción puede deberse a:

- **Factores metabólicos.** La hiposecreción puede deberse a una deficiencia de algunos sustratos fundamentales necesarios para sintetizar la hormona en cuestión. Por ejemplo, el hipotiroidismo puede deberse a un aporte dietético insuficiente de yodo o a la exposición a fármacos que inhiben el transporte o la utilización de yodo en la glándula tiroides.
- **Daños físicos.** Cualquier circunstancia que interrumpa el aporte sanguíneo normal o que dañe físicamente las células endocrinas puede inactivarlas inmediatamente o tras una descarga hormonal inicial. Si los daños son importantes, la glándula puede inactivarse definitivamente. Por ejemplo, se puede producir un hipotiroidismo pasajero o permanente por la infección o la inflamación de la glándula tiroides (tiroiditis), por la interrupción del flujo sanguíneo normal, o por la exposición a la radiación como parte del tratamiento contra el cáncer de tiroides o de los tejidos adyacentes. La glándula tiroides puede resultar dañada también por un trastorno autoinmune que da lugar a la formación de anticuerpos que atacan y destruyen las células foliculares normales.
- **Anomalías congénitas.** Una persona puede ser incapaz de producir cantidades normales de una determinada hormona debido a que 1) la propia glándula es demasiado pequeña; 2) las enzimas necesarias son anormales; 3) los receptores que ponen en marcha la secreción son relativamente insensibles, o 4) las células glandulares carecen de los receptores que intervienen normalmente en la estimulación de la actividad secretoria.

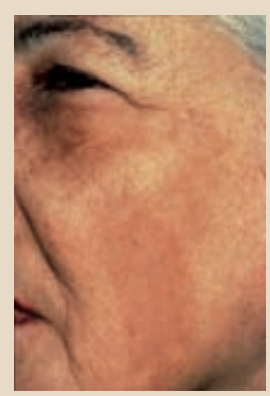
Las anomalías endocrinas pueden deberse también a la presencia de receptores hormonales anormales en los tejidos diana. En tales casos, la glándula afectada y los mecanismos reguladores son normales, pero las células periféricas no pueden responder a la hormona circulante. El mejor ejemplo de este tipo de anomalía es la diabetes de tipo 2, en la que las células periféricas no responden normalmente a la insulina.

Muchos de estos trastornos dan lugar a anomalías o rasgos anatómicos distintivos que resultan evidentes durante la exploración física (**v. figura 19.11** y tabla 19.6).

(a) La *acromegalia* se debe a una producción excesiva de hormona del crecimiento una vez que se han fusionado las placas epifisarias. Los huesos cambian de forma y las zonas cartilaginosas del esqueleto aumentan de tamaño. Obsérvese la anchura de los rasgos faciales y el gran tamaño del maxilar inferior.

(b) El *cretinismo* se debe a una insuficiencia de hormona tiroidea durante la lactancia.

(c) El aumento de tamaño de la glándula tiroides, o *bocio,* suele guardar relación con una hiposecreción tiroidea como consecuencia de una insuficiencia nutricional de yodo.



(d) La *enfermedad de Addison* se debe a una hiposecreción de corticoesteroides, especialmente de glucocorticoesteroides. Se producen cambios en la pigmentación como consecuencia de la estimulación de los melanocitos por la ACTH, que tiene una estructura muy parecida a la de la MSH.

(e) La *enfermedad de Cushing* se debe a una hipersecreción de glucocorticoesteroides. Se movilizan las reservas de lípidos y el tejido adiposo se acumula en las mejillas y en la base del cuello.

Figura 19.11 Anomalías endocrinas
Ejemplos representativos de los rasgos anatómicos característicos de algunas endocrinopatías.

Nota clínica *(cont.)*

TABLA 19.6 Consecuencias clínicas de las anomalías endocrinas

Hormona	Síndrome de producción insuficiente	Síntomas principales	Síndrome de producción excesiva	Síntomas principales
Hormona del crecimiento (GH)	Fracaso del crecimiento hipofisario (niños)	Retraso del crecimiento, distribución anormal de la grasa, hipoglucemia horas después de una comida	Gigantismo (niños), acromegalia (adultos)	Crecimiento excesivo de la estatura en un niño, o de la cara y las manos en un adulto
Hormona antidiurética (ADH)	Diabetes insípida	Poliuria	SSIADH (síndrome de secreción inadecuada de ADH)	Aumento del agua del organismo e hiponatremia
Tiroxina (T_3, T_4)	Mixedema, cretinismo	Metabolismo lento, hipotermia; alteración del desarrollo físico y mental	Enfermedad de Graves	Metabolismo acelerado, hipertermia; taquicardia; pérdida de peso
Hormona paratiroidea (PTH)	Hipoparatiroidismo	Debilidad muscular, problemas neurológicos, tetania por hipocalcemia	Hipoparatiroidismo	Problemas neurológicos, mentales y musculares a causa de la hipercalcemia; huesos débiles y frágiles
Insulina	Diabetes mellitus	Hiperglucemia, alteración de la utilización de la glucosa, dependencia de los lípidos para producir energía, glucosuria, cetosis	Exceso de producción o administración de insulina	Hipoglucemia, que puede llegar a causar un coma
Mineralocorticoesteroides (MC)	Hipoaldosteronismo	Poliuria, hipovolemia, hiperpotasemia	Aldosteronismo	Aumento del peso corporal por retención de agua, hipopotasemia
Glucocorticoesteroides (GC)	Enfermedad de Addison	Intolerancia al estrés, imposibilidad de movilizar las reservas energéticas y de mantener una glucemia normal	Enfermedad de Cushing	Degradación excesiva de las proteínas tisulares y de las reservas de lípidos, alteración del metabolismo de la glucosa
Adrenalina (A), noradrenalina (NA)	No se conoce ninguno		Feocromocitoma	Metabolismo acelerado, hipertermia y taquicardia; hiperglucemia; otros síntomas comparables a los de una estimulación neurovegetativa excesiva
Estrógenos (mujeres)	Hipogonadismo	Esterilidad, ausencia de características sexuales secundarias	Síndrome adrenogenital	La síntesis excesiva de andrógenos por la zona reticular de la corteza suprarrenal provoca una masculinización
			Pubertad precoz	Aparición precoz de folículos en desarrollo y de secreción de estrógenos
	Menopausia	Interrupción de la ovulación		
Andrógenos (varones)	Hipogonadismo, eunucoidismo	Esterilidad, ausencia de características sexuales secundarias	Ginecomastia	La síntesis anormal de estrógenos, debida a veces a tumores de células suprarrenales o intestinales, que da lugar a un aumento del tamaño mamario
			Pubertad precoz	Síntesis precoz de andrógenos, que da lugar a un desarrollo físico prematuro y a cambios de comportamiento

Hormonas y envejecimiento

El sistema endocrino experimenta relativamente pocos cambios funcionales con la edad. Las excepciones más destacables son: 1) los cambios en las concentraciones de hormonas reproductoras durante la pubertad, y 2) la disminución de la concentración de hormonas reproductoras durante la menopausia en las mujeres. Cabe destacar que los cambios que experimentan otros tejidos con la edad alteran su capacidad de respuesta a los estímulos hormonales. Debido a ello, la mayoría de los tejidos pueden responder menos a las hormonas circulantes, aunque las concentraciones de las mismas se mantengan dentro de los valores normales.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Dónde se localizan los islotes de Langerhans? Cite las hormonas que se producen en los mismos.
2. ¿Qué función desempeña la inhibina y dónde se sintetiza?
3. ¿Qué hormona(s) del sistema endocrino experimentan el descenso más marcado como consecuencia del envejecimiento?

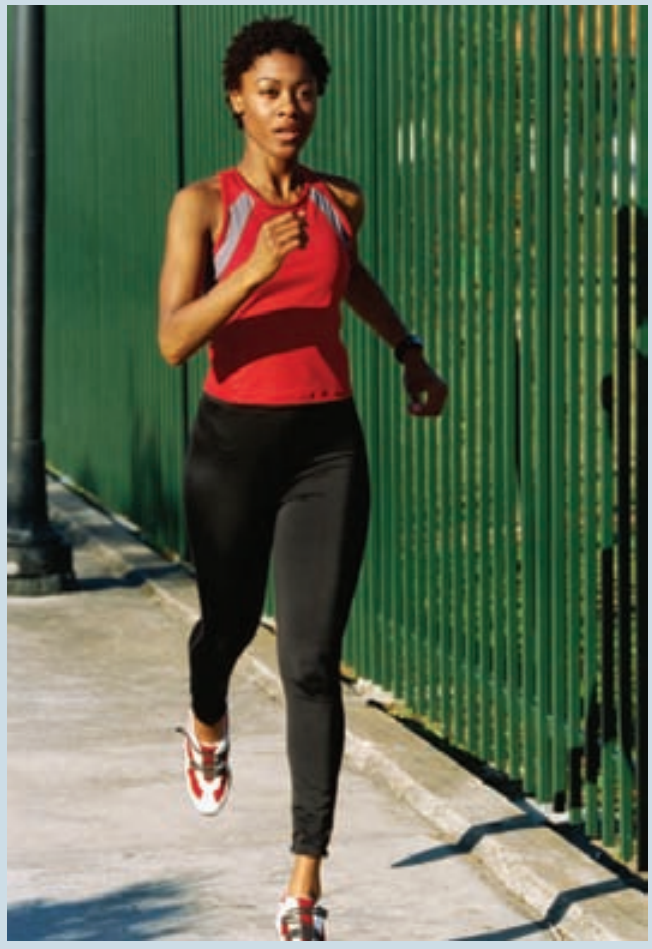
Véase «Respuestas» al final del libro.

Caso clínico

SISTEMA ENDOCRINO

¿POR QUÉ YA NO PUEDO MANTENER EL RITMO?

Joan es una profesora de instituto de 35 años. Corre habitualmente y recorre unos 50-60 km semanales, por término medio. A Joan siempre le ha gustado correr y siguió entrenándose en el instituto y en la universidad. Su trayectoria como atleta alcanzó su mejor momento cuando ganó la carrera campo a través durante el tercer y cuarto año de competiciones interuniversitarias en la Universidad de Wisconsin-Madison. Desde que empezó a trabajar en la facultad hace 5 años, Joan ha seguido corriendo durante la semana y los fines de semana con varios de los profesores varones de la facultad. Siempre se ha sentido orgullosa de que puede correr, y de hecho corre, mucho más rápido que sus colegas de sexo masculino. Sin embargo, durante los seis últimos meses Joan ha notado que cada vez le cuesta más mantener su ritmo normal de carrera, incluso en distancias cortas de 3-5 kilómetros. Esto, unido a los frecuentes calambres musculares, dolores articulares, síntomas parecidos a los de un resfriado y fatiga crónica, le ha obligado a considerarse una «corredora vieja» y a pensar que ya no puede seguir compitiendo con sus compañeros de carrera habituales. Finalmente, Joan ha pedido cita con su médico de familia después de haber sido rechazada como donante de sangre debido a la anemia y a unas concentraciones totales de colesterol y triglicéridos demasiado altas.



Exploración inicial

El médico de familia examina a Joan. La exploración física aporta la siguiente información:

- Síntomas de resfriado y ronquera persistente desde hace 2-3 semanas.
- Problemas de estreñimiento frecuentes.
- Pigmentación amarillenta de la piel, pero que no afecta a la esclerótica.
- Piel fría, reseca, áspera y escamosa.
- Cara hinchada y edema periorbitario.
- Uñas gruesas y quebradizas.
- Ligera alopecia difusa en el cuero cabelludo y el tercio lateral de las cejas
- Presión arterial 110/80 mm Hg.
- Disminución de los reflejos tendinosos profundos con relajación muscular prolongada al valorar el reflejo del tendón de Aquiles.
- Glándula tiroides ligeramente aumentada de tamaño, de consistencia elástica a la palpación, sin sensibilidad.

El médico de Joan solicita las siguientes pruebas de laboratorio:

- Recuento hematológico completo.
- Perfil de lípidos.
- Análisis de orina.
- Concentraciones de TSH.
- Concentraciones de T_4 libre.

Exploración de seguimiento

Joan y su médico se reúnen al cabo de 1 semana para comentar los resultados de las pruebas de laboratorio. Dichos resultados demuestran lo siguiente:

- El recuento hematológico completo indica anemia ferropénica.
- El perfil de lípidos confirma un aumento del colesterol total, las lipoproteínas de baja densidad y los triglicéridos.
- La concentración plasmática de TSH es de 20 mU/L.
- La concentración de T_4 libre es de 0,6 ng/dL.

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

anemia: Cualquier trastorno en el que se observe una disminución clínica del número de eritrocitos o de la concentración de hemoglobina.
colesterol: El esteroide más abundante en los tejidos animales, especialmente en la bilis, y presente en los alimentos, especialmente en aquellos que contienen muchas grasas animales.
edema periorbitario: Acumulación de una cantidad excesiva de líquido acuoso en los espacios intersticiales de la piel que rodea los ojos.
esclerótica: Parte del estrato fibroso que forma la capa externa del globo ocular; el blanco de los ojos.
perfil de lípidos: Prueba de laboratorio que permite determinar las concentraciones y las características químicas de los lípidos suspendidos en la sangre de una persona.
recuento hematológico completo: Recuento de todos los eritrocitos, leucocitos y plaquetas presentes en una cantidad de sangre determinada.
reflejos tendinosos profundos (*reflejo miotáctico*): Contracción de los músculos en respuesta a la distensión como consecuencia de la estimulación de los propiorreceptores.
trastorno inmunitario: Situación en la que el sistema linfático de una persona produce células y/o anticuerpos contra sus propios tejidos.
triglicérido: Ácido graso unido a glicerol; la principal forma en que se encuentran los lípidos en el organismo. También conocido como triacilglicerol.

Casoc línico *(cont.)*

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en el capítulo 19 sobre el sistema endocrino. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, consultando de nuevo el capítulo 19 si necesita alguna ayuda.

1. A primera vista, todos los síntomas de Joan parecen aleatorios y sin ninguna relación entre ellos. ¿Qué tienen en común todos estos síntomas?
2. ¿Por qué los síntomas de Joan han ido apareciendo lentamente, a lo largo de un período de tiempo tan largo?
3. ¿Por qué el perfil de lípidos de Joan confirma que están elevados el colesterol total, las lipoproteínas de baja densidad y los triglicéridos?

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas que indicamos a continuación.

1. Muchas de las hormonas que secreta el sistema endocrino producen efectos metabólicos generalizados. Todos los síntomas de Joan guardan relación con su metabolismo celular general y su consumo de oxígeno (pp. 513-515).
2. Las cavidades foliculares de la glándula tiroides almacenan tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3) (pp. 513). La liberación de estas hormonas disminuirá lentamente conforme vaya empeorando el estado de Joan: a esto se debe el desarrollo tan lento de sus síntomas.
3. El perfil de lípidos de Joan (colesterol total, lipoproteínas de baja densidad y triglicéridos elevados) se debe a un descenso del índice metabólico y de la absorción de lípidos por los tejidos periféricos. Muchas de las hormonas secretadas por el sistema endocrino influyen en diferentes aspectos del metabolismo del organismo (pp. 518-521).

Diagnóstico

Después de realizar una prueba más para determinar la presencia de anticuerpos antitiroideos y una RM (**v. figura 19.12**), el médico diagnostica que Joan padece un trastorno autoinmunitario: la **tiroiditis de Hashimoto.** Esta enfermedad se caracteriza por una destrucción muy lenta de las células tiroideas como consecuencia de diversos procesos inmunológicos mediados por células y anticuerpos. Este trastorno autoinmune reduce la síntesis y liberación de hormonas tiroideas. Sin embargo, los síntomas de este trastorno van apareciendo lentamente a lo largo del tiempo debido al «goteo» de la tiroxina y la triyodotironina formadas previamente, que los folículos tiroideos dañados por el proceso autoinmune van liberando lentamente.

La tiroiditis de Hashimoto es la causa más frecuente de hipotiroidismo entre las personas mayores de 6 años en EE. UU. En el resto del mundo, la causa más frecuente de hipotiroidismo es la deficiencia de yodo. Sin embargo, la tiroiditis de Hashimoto constituye la causa más frecuente de hipotiroidismo espontáneo en aquellas regiones del mundo con una ingesta dietética de yodo adecuada.

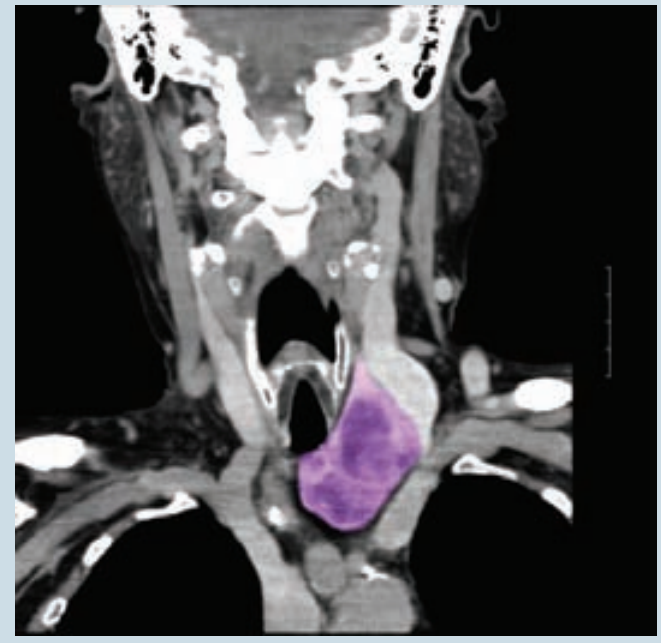


Figura 19.12 **RM de Joan**

El médico de Joan se ha basado en sus conocimientos sobre el sistema endocrino y sus funciones para poder predecir los síntomas de los diferentes trastornos endocrinos. Por ejemplo, los síntomas de Joan (aunque en un primer momento pudiera parecer que no estaban relacionados entre sí) le indicaron que Joan no tenía un metabolismo basal normal. Las hormonas tiroideas aceleran el metabolismo basal e incrementan la producción de calor corporal, la perspiración y la frecuencia cardíaca. El metabolismo elevado, la hipertermia, la pérdida de peso, el nerviosismo, la perspiración excesiva y la frecuencia cardíaca acelerada o irregular son síntomas de hipertiroidismo. Por el contrario, el descenso del metabolismo basal, la disminución de la temperatura corporal, el aumento de peso, la letargia, la sequedad de piel y la disminución de la frecuencia cardíaca son los síntomas típicos del hipotiroidismo. No obstante, muchos de los signos y síntomas de los trastornos endocrinos no son tan concluyentes. Por ejemplo, la poliuria, o aumento de la excreción urinaria, puede deberse a una hiposecreción de ADH (diabetes insípida) o a la hiperglucosuria causada por la diabetes mellitus; un síntoma como la hipertensión arterial (aumento de la presión arterial) puede deberse a diferentes problemas cardiovasculares o endocrinos. En estos casos, muchas decisiones diagnósticas se basan en los análisis de sangre y otras pruebas, que pueden confirmar la presencia de un trastorno endocrino mediante la detección de concentraciones anormales de hormonas circulantes o de productos metabólicos derivados de la acción hormonal. Las pruebas de seguimiento permiten determinar si la causa primaria del problema radica en la glándula endocrina, en los mecanismos reguladores o en los órganos diana. A menudo, un patrón de resultados de diferentes pruebas puede conducirnos al diagnóstico. En la tabla 19.6 se ofrece una revisión clínica de las alteraciones endocrinas, y en la tabla 19.7 se recogen algunas pruebas anatómicas que pueden utilizarse para diagnosticar trastornos endocrinos como el de Joan. ■

Casoc línico *(cont.)*

TABLA 19.7 Pruebas representativas para el diagnóstico de los trastornos del sistema endocrino

Prueba diagnóstica	Método y resultado	Usos más representativos
Tiroides		
Gammagrafía tiroidea	Una dosis de radioisótopo se acumula en la glándula tiroides y emite una radiación detectable que crea una imagen de la tiroides	Permite determinar el tamaño, la forma y las anomalías de la glándula tiroides; detecta la presencia de nódulos y/o tumores; puede detectar zonas hiperactivas o hipoactivas; puede determinar la causa de una masa cervical
Ecografía de tiroides	Se usan las ondas sonoras reflejadas por las estructuras internas para crear una imagen por ordenador	Permite detectar quistes o tumores tiroideos, ganglios linfáticos aumentados de tamaño o anomalías en el tamaño o la forma de la glándula tiroides
Prueba de captación de yodo radiactivo (RAIU)	El paciente ingiere yodo radiactivo, que es atrapado por la tiroides; el detector determina la cantidad de yodo radiactivo captado en un período de tiempo	Permite determinar la hiperactividad o hipoactividad de la glándula tiroides; a menudo se combina con la gammagrafía tiroidea
Hipófisis		
Radiografía de mano y muñeca	Radiografías convencionales de los cartílagos epifisarios para calcular la «edad ósea», basándose en el momento de cierre de los cartílagos	Permite comparar las edades ósea y cronológica de un niño; una edad ósea más de 2 años inferior a la edad cronológica indica una posible deficiencia de hormona del crecimiento con hipopituitarismo o fallo del crecimiento hipofisario
Estudio radiológico de la silla turca	Radiografía estándar de la silla turca, que alberga la hipófisis	Permite determinar (con más exactitud y a mayor precio) el tamaño de la hipófisis, así como detectar tumores hipofisarios
TC de la hipófisis	TC transversal estándar; también se puede usar un medio de contraste	
RM de la hipófisis	RM estándar	
Glándulas paratiroides		
Ecografía de las glándulas paratiroides	Ecografía estándar	Permite determinar las posibles anomalías estructurales de las glándulas paratiroides, como un aumento de tamaño
Glándulas suprarrenales		
Ecografía de la glándula suprarrenal	Ecografía estándar	Permite detectar anomalías en el tamaño o la forma de las glándulas suprarrenales; puede detectar tumores
TC de la glándula suprarrenal	TC transversal estándar	Permite detectar anomalías en el tamaño o la forma de las glándulas suprarrenales; puede detectar tumores
Angiografía suprarrenal	Inyección de un colorante radioopaco para examinar la vascularización de la glándula suprarrenal	Permite detectar tumores e hiperplasias

TÉRMINOS CLÍNICOS

bocio: Aumento difuso del tamaño de la glándula tiroides.

cetoacidosis: Trastorno en el que la acumulación de grandes cantidades de cuerpos cetónicos en la sangre provoca un descenso peligroso del pH sanguíneo.

crisis tirotóxica: Período en el que una persona con hipertiroidismo agudo experimenta fiebre muy alta, taquicardia y alteraciones funcionales en diferentes sistemas fisiológicos.

diabetes insípida: Trastorno que se produce cuando el lóbulo posterior de la hipófisis deja de liberar cantidades adecuadas de ADH.

diabetes mellitus: Trastorno que se caracteriza por unas concentraciones de glucosa muy altas que desbordan la capacidad de reabsorción de los riñones.

diabetes mellitus insulinodependiente (también conocida como **diabetes de tipo 1** o **diabetes juvenil):** Tipo de diabetes mellitus; la causa fundamental es una síntesis inadecuada de insulina por las células beta de los islotes pancreáticos.

diabetes mellitus no insulinodependiente (también conocida como diabetes de tipo 2 o diabetes adulta): Tipo de diabetes mellitus en el que las concentraciones de insulina son normales o están elevadas, aunque los tejidos periféricos dejan de responder normalmente.

exoftalmos: Protrusión de los ojos, un síntoma de hipertiroidismo.

mixedema: Síntomas de hipotiroidismo grave: hinchazón subcutánea, sequedad de piel, pérdida del cabello, hipotermia, debilidad muscular y lentitud de reflejos.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 508

1. Los sistemas nervioso y endocrino trabajan conjuntamente para vigilar y ajustar los mecanismos fisiológicos que regulan de la homeostasia**.**
2. En general, el sistema endocrino regula los procesos metabólicos a más largo plazo. Las *células endocrinas* liberan sustancias químicas denominadas **hormonas** que regulan simultáneamente las actividades metabólicas de muchos órganos y tejidos diferentes.

Visión general del sistema endocrino 508

1. El sistema endocrino está constituido por todos los tejidos y células endocrinos, que liberan sus productos secretorios a los líquidos intersticiales *(v. figura 19.1)*.
2. Atendiendo a su estructura química, las hormonas pueden clasificarse en cuatro grupos: *derivados de aminoácidos, hormonas peptídicas, esteroideas y eicosanoides.*
3. La actividad celular y las reacciones metabólicas están controladas por enzimas. Las hormonas ejercen sus efectos modificando la actividad de las **células diana** (células sensibles a esa hormona en particular).
4. Normalmente, la actividad endocrina está regulada por un control de retroalimentación negativa. En este control: 1) las células endocrinas liberan su hormona en respuesta a los cambios en la composición del líquido extracelular; 2) la hormona estimula la célula diana, y 3) la célula diana restablece la homeostasia. Esta respuesta suprime la causa que ha estimulado la célula endocrina.
5. La actividad endocrina puede controlarse mediante: 1) actividad neural; 2) retroalimentación positiva (poco frecuente), o 3) mecanismos de retroalimentación negativa muy complejos.

Hipotálamo y regulación endocrinas 509

6. El hipotálamo regula las actividades endocrina y neural: 1) controla la excreción de la médula suprarrenal, un componente endocrino de la división simpática del SNA; 2) sintetiza dos hormonas propias (ADH y oxitocina), que libera la neurohipófisis (lóbulo posterior), y 3) controla la actividad de la adenohipófisis (lóbulo anterior) mediante la producción de **hormonas reguladoras** (**hormonas liberadoras, o RH, y hormonas inhibitorias, o IH**) *(v. figura 19.2)*.

Hipófisis 510

1. La **hipófisis** libera nueve hormonas peptídicas importantes. Dos de ellas se sintetizan en el hipotálamo y se liberan a través de la neurohipófisis, y las otras siete se sintetizan en la adenohipófisis *(v. figuras 19.3/19.4 y tabla 19.1)*.

Neurohipófisis 510

2. La **neurohipófisis (lóbulo posterior)** contiene los axones de algunas neuronas hipotalámicas. Las neuronas de los **núcleos supraóptico y paraventricular** sintetizan **hormona antidiurética (ADH)** y **oxitocina**, respectivamente. La ADH limita la cantidad de agua que se pierde por los riñones. Se libera cuando aumenta la concentración de electrólitos en la sangre o desciende la volemia. En las mujeres, la oxitocina estimula las células musculares lisas del útero y las células contráctiles de las glándulas mamarias. Se libera en respuesta a la distensión del músculo uterino o a la succión del lactante. En los varones estimula las contracciones del músculo liso prostático *(v. figuras 19.3 a 19.5 y tabla 19.1)*.

Adenohipófisis 510

3. La **adenohipófisis (lóbulo anterior)** puede subdividirse en la **parte distal** (más grande), la **parte intermedia** (muy delgada) y la **parte tuberal**. Toda la adenohipófisis está muy vascularizada.
4. En la zona tuberal del suelo del hipotálamo hay algunas neuronas que liberan factores reguladores a los líquidos intersticiales circundantes. Las células endocrinas de la adenohipófisis están controladas por factores liberadores, factores inhibitorios (hormonas) o una combinación de ambos. Estas secreciones pasan a la circulación a través de capilares **fenestrados** que presentan aberturas entre sus células epiteliales. Los vasos sanguíneos, denominados **vasos porta**, forman una red vascular muy especial que conecta el hipotálamo con el lóbulo anterior de la hipófisis. Este complejo constituye el **sistema porta hipofisario**, y garantiza que toda la sangre que penetra en los vasos porta llegue a las células diana correspondientes antes de volver a la circulación general *(v. figuras 19.3/19. 5)*.
5. Entre las hormonas más importantes secretadas por la parte distal cabe destacar: 1) la **hormona estimulante de la tiroides (TSH),** que induce la liberación de las hormonas tiroideas; 2) la **corticotropina (ACTH),** que estimula la liberación de **glucocorticoesteroides** por la glándula suprarrenal; 3) la **hormona estimulante de los folículos (FSH),** que estimula la secreción de **estrógenos** (*estradiol*) y el desarrollo del huevo en las mujeres y la producción de espermatozoides en los varones; 4) la **hormona luteinizante (LH),** que induce la ovulación y la síntesis de **progestinas** (*progesterona*) en las mujeres y de **andrógenos** (*testosterona*) en los varones (en conjunto, la FSH y la LH reciben el nombre de **gonadotropinas**); 5) la **prolactina (PRL),** que estimula el desarrollo de las glándulas mamarias y la producción de leche, y 6) la **hormona del crecimiento (GH o somatostatina),** que estimula el crecimiento y la replicación de las células *(v. figuras 19.3/19.4)*.
6. La **hormona estimulante de los melanocitos (MSH)**, liberada por la parte intermedia, estimula la síntesis de melanina por los melanocitos *(v. figura 19.4)*.

Glándula tiroides 513

1. La **glándula tiroides** se encuentra por debajo del **cartílago tiroides** de la laringe. Está constituida por dos lóbulos conectados por un **istmo** estrecho *(v. figura 19.6a)*.

Folículos y hormonas tiroideos 513

2. La glándula tiroides contiene numerosos **folículos tiroideos**. Las células foliculares sintetizan **tiroglobulina** y la almacenan en el **coloide** (un líquido viscoso que contiene proteínas en suspensión) en el interior de la **cavidad folicular**. Las células transportan también yodo de los líquidos extracelulares a la cavidad, en donde forma complejos con residuos de tirosina de las moléculas de tiroglobulina para formar las hormonas tiroideas *(v. figura 19.6b,c y tabla 19.2)*.
3. Por el estímulo de la TSH, las células foliculares reabsorben la tiroglobulina, escinden la proteína y liberan las hormonas tiroideas, **tiroxina** (**TX** o T_4) y **triyodotironina** (T_3) a la circulación *(v. figura 19.7)*.

Tirocitos C de la glándula tiroides 515

4. Los **tirocitos C** de los folículos tiroideos producen **calcitonina (CT),** que ayuda a reducir las concentraciones de iones de calcio en los líquidos corporales inhibiendo la actividad de los osteoclastos y estimulando la excreción renal de iones de calcio *(v. figura 19.6c)*.
5. La calcitonina produce los efectos opuestos a los de la *hormona paratifoidea* sintetizada por las glándulas paratiroides *(v. tabla 19.2)*.

Glándulas paratiroides 515

1. Hay cuatro **glándulas paratiroides** sumergidas en la superficie posterior de la glándula tiroides. Las **células paratiroideas (principales)** sintetizan **hormona paratiroidea (PTH)** en respuesta al descenso de las concentraciones de iones de calcio. Las células oxífilas de la paratiroides no tienen ninguna función conocida *(v. figura 19.8 y tabla 19.2)*.
2. La PTH: 1) estimula la actividad osteoclástica; 2) estimula la actividad de los osteoblastos en menor medida; 3) reduce la pérdida de calcio por la orina, y 4) favorece la absorción intestinal de calcio (estimulando la síntesis de calcitriol) *(v. tabla 19.2)*.
3. Las glándulas paratiroides y los tirocitos C de la glándula tiroides mantienen las concentraciones de iones de calcio dentro de unos límites relativamente estrechos *(v. figura 19.8c y tabla 19.2)*.

Timo 515

1. El timo está sumergido en una masa de tejido conjuntivo de la cavidad torácica y produce diversas hormonas que estimulan el desarrollo y el mantenimiento de las defensas inmunológicas normales *(v. figura 19.1)*.

2. Las timosinas sintetizadas por el timo potencia el desarrollo y la maduración de los linfocitos.

Glándulas suprarrenales 516

1. Sobre el polo superior de cada uno de los riñones descansa una **glándula suprarrenal.** Cada una de las glándulas suprarrenales está rodeada por una **cápsula** fibrosa y se subdivide en una **corteza** superficial y una **médula** interna *(v. figura 19.9)*.

Corteza de la glándula suprarrenal 516

2. La corteza de la glándula suprarrenal sintetizada hormonas esteroides, conocidas como **esteroides corticosuprarrenales (corticoesteroides).** Podemos subdividir la corteza en tres zonas independientes: 1) la **zona glomerulosa** externa libera **mineralocorticoesteroides (MC),** fundamentalmente **aldosterona**, que restringen las pérdidas de sodio y agua a través de los riñones, las glándulas sudoríparas, el tubo digestivo y las glándulas salivares. La zona glomerulosa responde a la presencia de una hormona, la angiotensina II, que aparece cuando las células renales secretan la enzima renina por un descenso de la volemia y/o la presión arterial; 2) la **zona fasciculada** media produce **glucocorticoesteroides (GC),** especialmente **cortisol** y **corticosterona.** Todas estas hormonas aceleran la síntesis de glucosa y la formación del glucógeno, especialmente en las células hepáticas; 3) la **zona reticular** interna produce pequeñas cantidades de hormonas sexuales, denominadas andrógenos. No se conoce bien la importancia que pueden tener estas pequeñas cantidades de andrógenos que sintetizan las glándulas suprarrenales *(v. figura 19.9c y tabla 19.3)*.

Médula de la glándula suprarrenal 518

3. La médula de cada glándula suprarrenal contiene grupos de **células cromafines,** que se parecen a las neuronas de los ganglios simpáticos. Estas células secretan adrenalina (75%-80%) o noradrenalina (20%-25%). Estas catecolaminas potencian el consumo de energía celular y la movilización de las reservas energéticas (v. capítulo 17) *(v. figura 19.9b,c y tabla 19.3)*.

Funciones endocrinas de los riñones y el corazón 518

1. Las células endocrinas de los riñones y el corazón sintetizan algunas hormonas importantes para la regulación de la presión arterial, la volemia, las concentraciones de oxígeno en sangre y la absorción de iones de calcio y fosfato.
2. Los riñones sintetizan la enzima *renina* y la hormona peptídica *eritropoyetina* cuando descienden la presión arterial o la concentración sanguínea de oxígeno en los riñones, y secretan la hormona esteroide *calcitriol* en presencia de la hormona paratiroidea. La **renina** cataliza la conversión del **angiotensinógeno** circulante en **angiotensina I.** En los capilares pulmonares, esta última se convierte en **angiotensina II,** la hormona que estimula la producción de aldosterona en la corteza suprarrenal. La **eritropoyetina (EPO)** estimula la formación de eritrocitos por la médula ósea. El **calcitriol** estimula la absorción del calcio y el fosfato en el tubo digestivo.
3. En el corazón hay unas células musculares especializadas que sintetizan **péptido natriurético auricular (ANP)** y **péptido natriurético cerebral (BNP)** cuando aumentan excesivamente la presión arterial o la volemia. Estas hormonas estimulan la excreción renal de agua y sodio, reduciendo de ese modo el volumen sanguíneo.

El páncreas y otros tejidos endocrinos del aparato digestivo 518

1. La mucosa digestiva, el hígado y el páncreas producen algunas secreciones exocrinas que resultan imprescindibles para la normal digestión y absorción de los alimentos.

Páncreas 518

2. El **páncreas** es un órgano nodular que ocupa un espacio entre el estómago y el intestino delgado. Contiene células exocrinas y endocrinas. El **páncreas exocrino** secreta a la luz intestinal un líquido rico en enzimas. Las células del páncreas endocrino forman agrupaciones denominadas **islotes pancreáticos** *(islotes de Langerhans)*. Cada uno de estos islotes contiene cuatro tipos de células: las **células alfa** producen **glucagón** para elevar la glucemia; las **células beta** secretan **insulina** para reducir la glucemia; las **células delta** secretan **somatostatina (hormona inhibidora de la hormona del crecimiento)** para inhibir la síntesis y la secreción de glucagón e insulina; y las **células F** secretan **polipéptido pancreático (PP),** que inhibe las contracciones vesiculares y regula la producción de algunas enzimas pancreáticas. El PP puede intervenir también en el control de la absorción de nutrientes a través del tubo digestivo *(v. figura 19.10 y tabla 19.4)*.
3. La insulina reduce la glucemia potenciando la captación y la utilización de la glucosa por la mayoría de las células del organismo; el glucagón eleva la glucemia incrementando la degradación del glucógeno y la síntesis de glucosa en el hígado. La somatostatina reduce la secreción hormonal de las células alfa y beta y ralentiza la absorción de los alimentos y la secreción enzimática en el tubo digestivo *(v. tabla 19.4)*.

Tejidos endocrinos del aparato reproductor 520

Testículos 520

1. Las **células intersticiales** de los testículos masculinos sintetizan andrógenos. El andrógeno más importante es la **testosterona.** Esta hormona estimula la producción de espermatozoides funcionales, mantiene las glándulas secretorias del aparato reproductor, influye en las características sexuales secundarias y estimula el crecimiento muscular *(v. tabla 19.5)*.
2. La hormona **inhibina,** producida por las **células de sostén (sustentaculares)** de los testículos, interactúa con la FSH secretada por el lóbulo anterior de la hipófisis para mantener la producción espermática dentro de los niveles normales.

Ovarios 521

3. Los ovocitos se desarrollan en el interior de los **folículos** del ovario femenino; las células foliculares que rodean los ovocitos sintetizan estrógenos, especialmente **estradiol.** Los estrógenos sostienen la maduración de los ovocitos y estimulan el crecimiento de la mucosa uterina. Los folículos activos secretan inhibina, que suprime la liberación de FSH por retroalimentación negativa *(v. tabla 19.5)*.
4. Tras la ovulación, las células foliculares que persisten dentro del ovario se reorganizan y forman el **cuerpo lúteo,** que produce una mezcla de estrógenos y progestinas, especialmente **progesterona.** La progesterona facilita el avance del huevo fertilizado a través de la trompa uterina hacia el útero, y estimula la preparación del útero para la implantación *(v. tabla 19.5)*.

Glándula pineal 521

1. La **glándula pineal** *(epífisis cerebral)* contiene células secretorias denominadas **pinealocitos,** que sintetizan **melatonina.** La melatonina ralentiza la maduración de los espermatozoides, los óvulos y los órganos reproductores inhibiendo la síntesis hipotalámica de los factores liberadores de FSH y LH. Además, la melatonina puede regular los ritmos circadianos *(v. figura 19.1)*.

Hormonas y envejecimiento 523

1. El sistema endocrino experimenta relativamente pocos cambios funcionales con la edad. Los cambios endocrinos más llamativos son el aumento de las concentraciones de hormonas reproductoras durante la pubertad y el descenso de las concentraciones de dichas hormonas con la menopausia.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A

___ 1. Células diana
___ 2. Hipotálamo
___ 3. ADH
___ 4. Prolactina
___ 5. FSH
___ 6. Coloide
___ 7. Oxífila
___ 8. Timosina
___ 9. Células cromafines
___10. Melatonina

Columna B

a. función desconocida
b. estimula la producción de leche
c. regulado por hormonas
d. glándula pineal
e. liberación de noradrenalina
f. reduce las pérdidas de agua
g. maduración de los linfocitos
h. estimula la secreción de estrógenos
i. produce hormona liberadora
j. líquido viscoso con hormonas almacenadas

11. La hormona que estimula la glándula tiroides y la liberación de hormona tiroidea es:
    (a) la hormona estimulante de los folículos (FSH)
    (b) la hormona estimulante de la tiroides (TSH)
    (c) la corticotropina (ADTH)
    (d) la hormona luteinizante (LH)

12. Cuando una catecolamina o una hormona peptídica se une a los receptores de la superficie de una célula:
    (a) el complejo hormona-receptor entra en el citoplasma
    (b) la plasmalema se despolariza
    (c) aparece un segundo mensajero en el citoplasma
    (d) la hormona es transportada hasta el núcleo y altera la actividad del ADN

13. ¿Cuál de los siguientes vasos sanguíneos irriga o drena la glándula tiroides?
    (a) arteria tiroidea superior
    (b) arteria tiroidea inferior
    (c) velas tiroideas superior, inferior y media
    (d) todas las anteriores son correctas

14. ¿Cómo influye en la edad en el funcionamiento del sistema endocrino?
    (a) se ve relativamente mucho menos afectado que la mayoría de los sistemas
    (b) la producción hormonal aumenta para compensar la menor respuesta de los receptores
    (c) la más afectada por la edad es la función endocrina del aparato reproductor
    (d) la producción hormonal de la glándula tiroides es la que más disminuye con la edad

15. Los órganos endocrinos pueden estar controlados por:
    (a) hormonas de otras glándulas endocrinas
    (b) estimulación neural directa
    (c) cambios en la composición del líquido extracelular
    (d) todas las anteriores son correctas

16. Las pérdidas de líquido por la orina pueden disminuir por la retención de iones de sodio y agua como consecuencia de la acción de:
    (a) la hormona antidiurética
    (b) la calcitonina
    (c) la aldosterona
    (d) la cortisona

17. Cuando desciende la glucemia,
    (a) se libera insulina
    (b) se libera glucagón
    (c) las células periféricas dejan de captar glucosa
    (d) se libera aldosterona para estimular estas células

18. El riñón libera las siguientes hormonas:
    (a) calcitriol y eritropoyetina
    (b) ADH y aldosterona
    (c) adrenalina y noradrenalina
    (d) cortisol y cortisona noradrenalina

19. El elemento necesario para que el tiroides funcione normalmente es:
    (a) magnesio (b) potasio
    (c) yodo (d) calcio

20. La estructura conocida como cuerpo lúteo secreta:
    (a) testosterona (b) progesterona
    (c) aldosterona (d) cortisona

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. El exoftalmos es un síntoma importante de:
    (a) enfermedad de Cushing (b) hipertiroidismo
    (c) hiperpituitarismo (d) enfermedad de Graves

2. Si una persona tiene muy poco linfocitos o estos son defectuosos, ¿qué glándula puede estar afectada?
    (a) tiroides (b) timo
    (c) hipófisis (d) pineal

3. En conjunto, la disminución de la actividad cardíaca, la presión arterial, la capacidad para procesar el glucógeno, la glucemia y la liberación de lípidos por los tejidos adiposos son síntomas de un defecto de:
    (a) la hipófisis (b) la corteza suprarrenal
    (c) el páncreas (d) la médula suprarrenal

4. Explique las diferencias funcionales entre los sistemas endocrino y nervioso.

5. Las hormonas pueden dividirse en cuatro grupos atendiendo a su estructura química. ¿Cuáles son esos cuatro grupos?

6. Describa los objetivos primarios y los efectos de la testosterona.

7. ¿Qué efectos tienen las hormonas tiroideas sobre los tejidos corporales?

8. ¿Por qué es tan importante una función paratiroidea normal para poder mantener unas concentraciones normales de iones de calcio?

9. Explique el papel que desempeña la melatonina en la regulación de la función reproductora.

10. ¿Qué importancia tiene la red de capilares de la hipófisis?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿Cómo puede un tumor hipofisario llegar a producir cantidades excesivas de hormona del crecimiento?

2. Las anomalías endocrinas raras veces (o nunca) provocan un único cambio en el metabolismo de una persona. ¿Qué dos anomalías endocrinas causarían una sed *y* una micción excesivas?

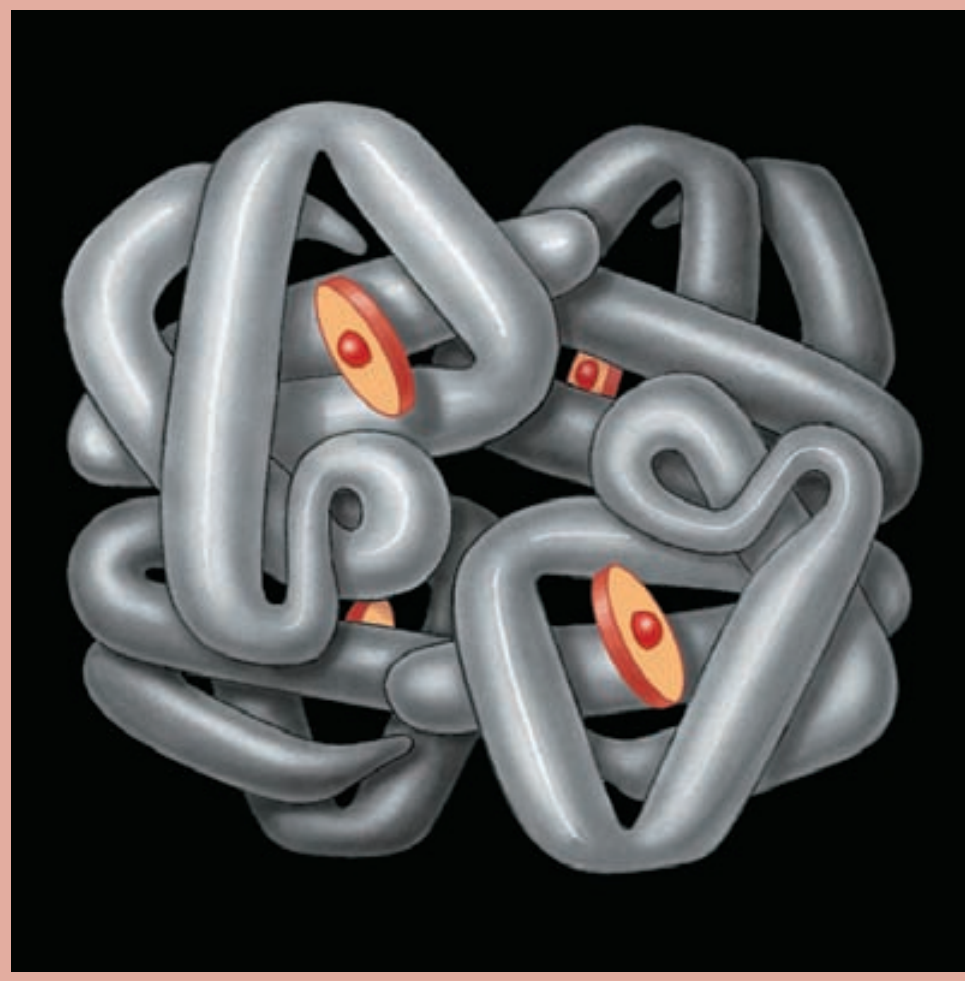
3. El hipotiroidismo (síntesis insuficiente de hormona tiroidea por la glándula tiroides) puede deberse a un problema del hipotálamo y la hipófisis o del tiroides. Explique cómo esto es médicamente posible.

4. ¿Cómo regulan las hormonas renales y cardíacas la presión arterial y la volemia?

20

Aparato cardiovascular

La sangre



Introducción 531

Funciones de la sangre 531

Composición de la sangre 531

Elementos formes 534

Hematopoyesis 541

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Enumerar y describir las funciones de la sangre.
2. Describir la composición de la sangre y las características físicas del plasma.
3. Enumerar las características estructurales y las funciones de los glóbulos rojos.
4. Explicar qué determina el grupo sanguíneo y la importancia del mismo.
5. Catalogar los distintos tipos de leucocitos en base a su estructura y función y describir cómo los leucocitos luchan contra la infección.
6. Describir la función de las plaquetas.
7. Describir la diferenciación y el ciclo vital de las células sanguíneas.
8. Identificar los lugares donde se producen los componentes sanguíneos y describir los factores que regulan su producción.

El cuerpo humano se encuentra en constante comunicación química con el medio ambiente externo. Los nutrientes se absorben a través del endotelio del tubo digestivo, los gases difunden a través del delicado epitelio de los pulmones y los productos de desecho son excretados por las heces y la orina, así como por la saliva, la bilis, el sudor y otras secreciones exocrinas. Estos intercambios químicos se producen en localizaciones u órganos especializados, porque todas las partes del cuerpo están unidas por el *aparato cardiovascular* (ACV). Se puede comparar este aparato cardiovascular con el sistema de refrigeración de un coche. Sus componentes básicos incluyen un líquido circulante (la sangre), una bomba (el corazón), y una variedad de vías de conducción (la red de vasos sanguíneos). Los tres capítulos sobre el aparato cardiovascular examinan dichos componentes de forma individualizada: en el capítulo 20 se expone la naturaleza de la sangre circulante, el capítulo 21 analiza la estructura y función del corazón y en el capítulo 22 se explica la red de vasos sanguíneos y la función integradora del aparato cardiovascular. Con ello se estará preparado para el capítulo 23, en el que se expone el *sistema linfático,* cuyos vasos y órganos están estructural y funcionalmente ligados al ACV.

Funciones de la sangre [v. tabla 20.1]

La **sangre** es un tejido conjuntivo especializado [p. 68] que: 1) distribuye nutrientes, oxígeno, y hormonas a cada una de las aproximadamente 75 billones de células del cuerpo humano; 2) transporta los residuos metabólicos hacia los riñones para su excreción, y 3) transporta células especializadas que defienden los tejidos periféricos de infecciones y enfermedades. La tabla 20.1 contiene una lista detallada de las funciones de la sangre. Las funciones realizadas por la sangre son absolutamente esenciales; cualquier célula corporal o región completamente privada de circulación morirá en cuestión de minutos.

Composición de la sangre (v. figura 20.1 y tabla 20.2)

La sangre es un tejido conjuntivo habitualmente confinado al aparato cardiovascular. Tiene una composición característica y singular (v. figura 20.1 y tabla 20.2). La sangre contiene dos componentes:

1. **El plasma,** la matriz líquida de la sangre, tiene una densidad sólo ligeramente superior al agua. Contiene proteínas en disolución en lugar de la trama de fibras insolubles típicas del tejido conjuntivo blando o del cartílago y numerosos solutos en suspensión.
2. Los **elementos formes** son células sanguíneas y fragmentos celulares que están suspendidos en el plasma. Estos elementos son muy abundantes y están altamente especializados. Los **glóbulos rojos (GR),** o eritrocitos,

Nota clínica

Transfusiones En una transfusión se aportan los componentes sanguíneos a un individuo cuyo volumen sanguíneo ha disminuido o es deficitario por algún motivo. Las transfusiones de sangre entera son las que se utilizan más comúnmente para restaurar el volumen sanguíneo tras un sangrado masivo. En una **exanguinotransfusión**, la mayoría del volumen sanguíneo de un individuo es extraído y simultáneamente reemplazado por sangre entera de otro origen. Esto puede ser necesario para tratar envenenamientos agudos por fármacos o la *enfermedad hemolítica del recién nacido* (v. p. 544).

La sangre se obtiene en medio estéril de donantes cuidadosamente evaluados. Se analiza la presencia de infecciones bacterianas y víricas, y es desechada si se detectan patógenos. La sangre entera es tratada para prevenir la coagulación sanguínea y estabilizar los glóbulos rojos, y refrigerada. La sangre entera refrigerada puede ser utilizada durante 3,5 semanas. Para almacenamientos más prolongados la sangre debe ser fraccionada. Los glóbulos rojos se separan del plasma y en caso necesario pueden ser congelados tras un tratamiento con una solución anticongelante. El plasma puede ser almacenado refrigerado, congelado o liofilizado. Este procedimiento permite el almacenamiento más prolongado de sangre de tipos raros que de otra manera podría no estar disponible para su uso urgente.

La sangre fraccionada tiene múltiples utilidades. Los **concentrados de eritrocitos (CH)**, con la mayoría del plasma eliminado, son los más indicados en casos de anemia, cuando el volumen de sangre puede ser prácticamente normal pero su capacidad para transportar oxígeno está disminuida. El plasma debe ser administrado tras pérdida masiva de líquidos, como en quemaduras severas.

Alrededor de 6 millones de unidades (3 millones de litros) de sangre son utilizadas anualmente sólo en EE. UU. y la demanda de sangre o de componentes sanguíneos frecuentemente supera a la oferta. Además, existe una preocupación creciente por el peligro de infección por virus de la hepatitis o VIH (el virus que causa el SIDA) de los receptores de transfusiones debido a la contaminación de la sangre. Como resultado se han realizado numerosos cambios en los procedimientos utilizados en la transfusión en los últimos años. En general, actualmente se administran menos unidades de sangre. También ha habido un incremento en las **transfusiones autólogas,** en las que la sangre se extrae de un paciente (o potencial paciente), se almacena, y posteriormente es retrasfundida al donante original cuando es preciso, como tras un procedimiento quirúrgico. Además, la nueva tecnología permite la reutilización de sangre «perdida» durante la cirugía. La sangre es recogida y filtrada; las plaquetas son eliminadas, y la sangre restante es reinfundida al paciente.

TABLA 20.1 Funciones de la sangre

1. *Transporte de los gases disueltos*, llevando oxígeno de los pulmones a los tejidos y trasladando anhídrido carbónico desde los tejidos a los pulmones.
2. *Distribución de los nutrientes* absorbidos por el tracto digestivo o liberados desde los depósitos en el tejido adiposo o el hígado.
3. *Transporte de los residuos metabólicos* desde los tejidos periféricos a los puntos de excreción, especialmente los riñones.
4. *Traslado de enzimas y hormonas* a los tejidos diana concretos.
5. *Estabilización del pH y de la composición de los electrólitos de los líquidos intersticiales* a lo largo del cuerpo. Al absorber, transportar y liberar iones mientras circula, la sangre ayuda a evitar variaciones regionales en la concentración de iones de los tejidos corporales. Una extensa gama de sustancias tampones permite al torrente sanguíneo manejar los ácidos generados por los tejidos, tales como el ácido láctico producido por los músculos estriados.
6. *Prevención de la pérdida de líquidos* a través de vasos dañados u otros puntos de lesión. La **reacción de coagulación** sella las roturas de las paredes vasculares, evitando cambios en el volumen de la sangre que podrían afectar gravemente a la presión sanguínea y a la función cardiovascular.
7. *Defensa contra toxinas y patógenos*. La sangre transporta leucocitos, células especializadas que migran a los tejidos periféricos para combatir infecciones o retirar residuos, y deposita anticuerpos, proteínas especiales que atacan a los organismos invasores o a los compuestos extraños. La sangre también recoge toxinas, tales como las producidas por una infección y las traslada al hígado y a los riñones, donde pueden ser inactivadas o excretadas.
8. *Estabilización de la temperatura corporal* al absorber y redistribuir el calor. Los músculos estriados activos y otros tejidos generan calor, y el torrente sanguíneo lo disipa. Cuando la temperatura corporal es excesiva, aumenta el flujo sanguíneo hacia la piel, como lo hace el ritmo de pérdida de calor por la superficie cutánea. Cuando la temperatura corporal es demasiado baja, la sangre caliente se dirige a los órganos más sensibles a la temperatura. Estos cambios del flujo circulatorio están controlados y coordinados por los *centros cardiovasculares* del bulbo raquídeo [p. 414].

(a)

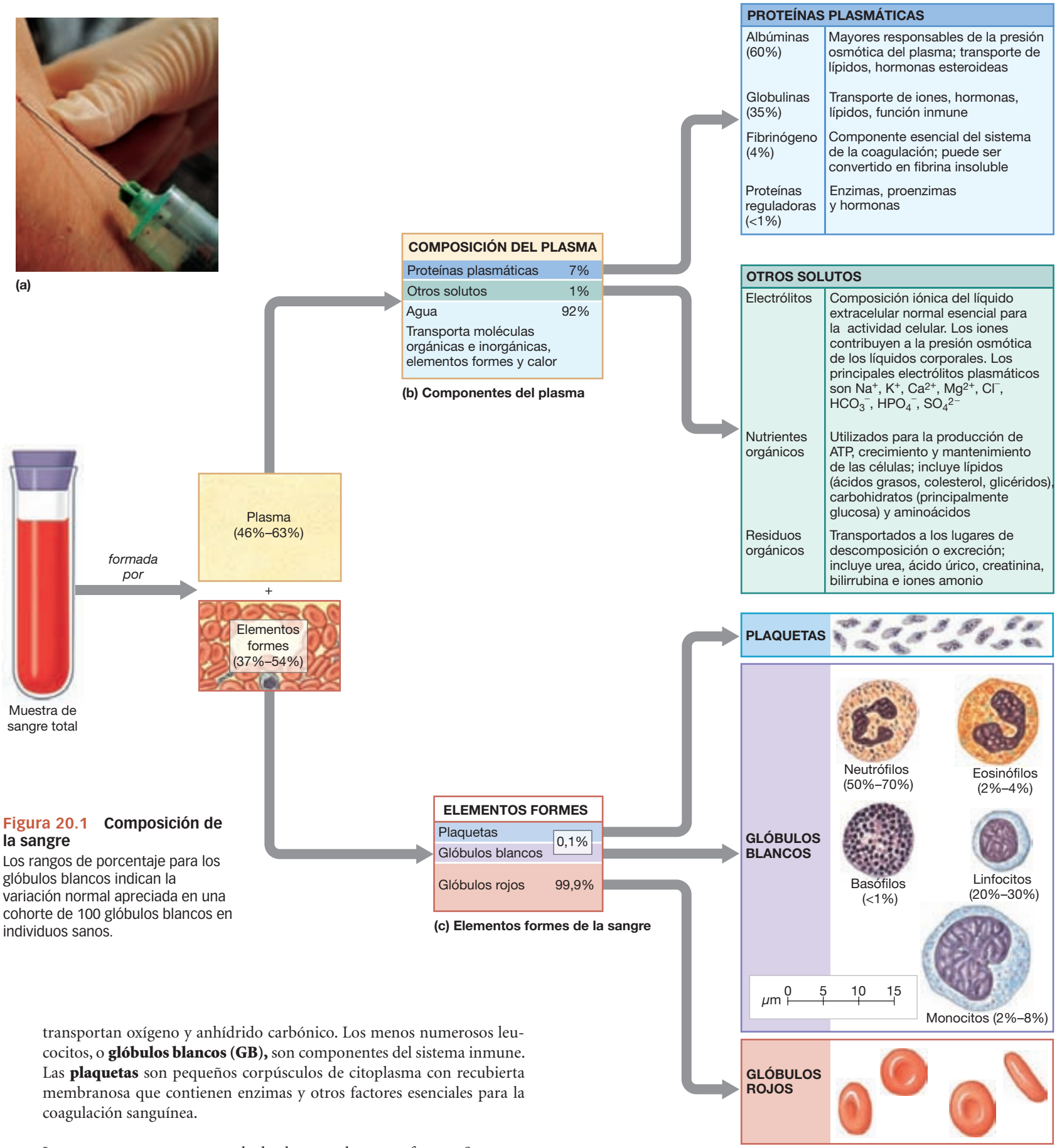

COMPOSICIÓN DEL PLASMA
Proteínas plasmáticas 7%
Otros solutos 1%
Agua 92%
Transporta moléculas orgánicas e inorgánicas, elementos formes y calor
(b) Componentes del plasma
PROTEÍNAS PLASMÁTICAS
Albúminas (60%) Mayores responsables de la presión osmótica del plasma; transporte de lípidos, hormonas esteroideas
Globulinas (35%) Transporte de iones, hormonas, lípidos, función inmune
Fibrinógeno (4%) Componente esencial del sistema de la coagulación; puede ser convertido en fibrina insoluble
Proteínas reguladoras (<1%) Enzimas, proenzimas y hormonas
OTROS SOLUTOS
Electrólitos Composición iónica del líquido extracelular normal esencial para la actividad celular. Los iones contribuyen a la presión osmótica de los líquidos corporales. Los principales electrólitos plasmáticos son Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-, HPO_4^-, SO_4^{2-}
Nutrientes orgánicos Utilizados para la producción de ATP, crecimiento y mantenimiento de las células; incluye lípidos (ácidos grasos, colesterol, glicéridos), carbohidratos (principalmente glucosa) y aminoácidos
Residuos orgánicos Transportados a los lugares de descomposición o excreción; incluye urea, ácido úrico, creatinina, bilirrubina e iones amonio
formada por
Plasma (46%–63%)
+
Elementos formes (37%–54%)
Muestra de sangre total
ELEMENTOS FORMES
Plaquetas
Glóbulos blancos 0,1%
Glóbulos rojos 99,9%
(c) Elementos formes de la sangre
PLAQUETAS
GLÓBULOS BLANCOS
Neutrófilos (50%–70%)
Eosinófilos (2%–4%)
Basófilos (<1%)
Linfocitos (20%–30%)
Monocitos (2%–8%)
μm 0 5 10 15
GLÓBULOS ROJOS

Figura 20.1 Composición de la sangre
Los rangos de porcentaje para los glóbulos blancos indican la variación normal apreciada en una cohorte de 100 glóbulos blancos en individuos sanos.

transportan oxígeno y anhídrido carbónico. Los menos numerosos leucocitos, o **glóbulos blancos (GB),** son componentes del sistema inmune. Las **plaquetas** son pequeños corpúsculos de citoplasma con recubierta membranosa que contienen enzimas y otros factores esenciales para la coagulación sanguínea.

La **sangre entera** es una mezcla de plasma y elementos formes. Sus componentes pueden estar separados o **fraccionados,** para su uso clínico. La sangre entera es pegajosa, cohesiva, y resistente al flujo, características que determinan la **viscosidad** de una solución. Las soluciones se comparan habitualmente con agua pura, que tienen una viscosidad de 1. El plasma tienen una viscosidad de 1,5, pero la viscosidad de la sangre entera es muy superior (cerca de 5) debido a las interacciones entre el agua y los elementos formes.

De media, un hombre adulto tiene un total de 5 a 6 litros de sangre en el aparato cardiovascular, y una mujer adulta tiene de 4 a 5 litros. La sangre tiene un pH alcalino (rango 7,35 a 7,45) y una temperatura levemente superior que la temperatura corporal (38 °C frente a 37 °C). Los clínicos usan los términos

TABLA 20.2 Composición de la sangre entera

Compuesto	Significación
PLASMA	
Agua	Disuelve y transporta moléculas orgánicas e inorgánicas, distribuye las células sanguíneas y transfiere calor
Electrólitos	Composición iónica normal del líquido extracelular para las actividades celulares fundamentales
Nutrientes	Utilizados para la producción de energía, crecimiento y mantenimiento de las células
Proteínas	
Albúminas	Principal responsable de la concentración osmótica del plasma, transporta algunos lípidos
Globulinas	Transporte de iones, hormonas y lípidos
Fibrinógeno	Componente esencial del sistema de coagulación, puede ser convertido en fibrina insoluble
Residuos orgánicos	Transportados a los lugares de descomposición y excreción
ELEMENTOS FORMES	
Glóbulos rojos	Transportan gases (oxígeno y anhídrido carbónico)
Glóbulos blancos	Defienden al organismo de patógenos; eliminan toxinas, residuos y células dañadas
Plaquetas	Participan en la cascada de la coagulación

hipovolémico, normovolémico e **hipervolémico** para hacer referencia a volúmenes sanguíneos disminuidos, normales o excesivos, respectivamente. Los volúmenes sanguíneos disminuidos o elevados son potencialmente dañinos; por ejemplo, una situación de hipervolemia puede suponer un estrés severo para el corazón (p. ej., hipertensión o «presión arterial elevada»), que debe bombear el líquido extra a lo largo del sistema circulatorio.

Plasma [v. figura 20.1 y tabla 20.2]

El plasma contribuye aproximadamente al 55% del volumen de la sangre entera, y el agua constituye el 92% del volumen plasmático. Estos son valores promedios, y las concentraciones reales varían dependiendo de la zona del aparato cardiovascular o del área corporal en la que se obtenga la muestra y del estado de actividad de la misma. La información referente a la composición del plasma se resume en la figura 20.1 y en la tabla 20.2.

Diferencias entre el plasma y el líquido intersticial

En muchos aspectos, el plasma se asemeja al líquido intersticial. Por ejemplo, las concentraciones iónicas del plasma son similares a las del líquido intersticial pero muy distintas a las concentraciones iónicas del citoplasma. La principal diferencia entre el plasma y el líquido intersticial afecta a las concentraciones de gases en disolución y proteínas.

1. *Concentraciones de oxígeno y anhídrido carbónico en disolución*. La concentración de oxígeno disuelto en el plasma es superior a la del líquido intersticial. Como resultado, el oxígeno difunde desde el torrente sanguíneo hacia los tejidos periféricos. La concentración de anhídrido carbónico en el líquido intersticial es muy superior a la del plasma, por lo que el anhídrido carbónico difunde desde los tejidos al torrente sanguíneo.
2. *Concentración de proteínas en disolución*. El plasma contiene cantidades significativas de proteínas en disolución, en contraposición al líquido intersticial. El gran tamaño y la forma globular de la mayoría de las proteínas plasmáticas previene su paso a través de las paredes capilares, permaneciendo atrapadas en el aparato cardiovascular.

Proteínas plasmáticas [v. figuras 20.1/20.7]

Las proteínas plasmáticas constituyen aproximadamente el 7% de la composición del plasma (v. figura 20.1). Cien mililitros de plasma humano normal contienen 6-7,8 g de proteínas solubles. Existen tres grandes clases de proteínas plasmáticas: *albúmina, globulinas* y *fibrinógeno.*

1. La **albúmina** constituye el 60% de las proteínas plasmáticas. Por ser la proteína más abundante, es el mayor determinante de la presión osmótica del plasma. También es importante en el transporte de ácidos grasos, hormonas esteroideas y otras sustancias. La albúmina es la proteína de menor tamaño de las proteínas plasmáticas.
2. Las **globulinas** suponen el 35% de la población proteica plasmática. Las globulinas agrupan las *inmunoglobulinas* y las *proteínas de transporte*. Las **inmunoglobulinas,** también llamadas **anticuerpos,** atacan proteínas extrañas y patógenos. Las **proteínas de transporte** se unen a pequeños iones, hormonas o compuestos que, o son insolubles, o deben ser filtrados fuera de la sangre en los riñones.
3. El **fibrinógeno** supone el 4% de todas las proteínas plasmáticas. Esta proteína, la mayor de las proteínas plasmáticas, es esencial para la correcta coagulación sanguínea. En determinadas condiciones las moléculas de fibrinógeno interaccionan, formando filamentos de *fibrina* de gran tamaño insolubles. Estos filamentos constituyen el armazón básico para la formación del coágulo sanguíneo (v. figura 20.7, p. 541). En una muestra de plasma, si no se actúa para prevenir la coagulación, se producirá la conversión de fibrinógeno en fibrina. Este proceso elimina los factores de la coagulación dejando un líquido conocido como **suero.**

Tanto la albúmina como las globulinas pueden adherirse a lípidos, como los triglicéridos, ácidos grasos o colesterol, que no son solubles en agua. Estas combinaciones lípidos-proteínas, llamadas **lipoproteínas,** se disuelven fácilmente en el plasma, y de esta manera los lípidos insolubles son transportados a los tejidos periféricos.

El hígado sintetiza y libera más del 90% de las proteínas plasmáticas. Dado que el hígado es la fuente principal de proteínas plasmáticas, las enfermedades hepáticas pueden alterar las características de la sangre, tanto en su composición como en su función. Por ejemplo, algunos tipos de enfermedad hepática pueden conducir a sangrado incontrolado, causado por una síntesis inadecuada de fibrinógeno y de otras proteínas plasmáticas implicadas en el proceso de la coagulación.

Nota clínica

Expansores plasmáticos Los expansores plasmáticos son soluciones que pueden ser utilizadas para aumentar temporalmente el volumen sanguíneo, durante un período de horas. Los expansores sanguíneos contienen grandes moléculas de carbohidratos, en vez de proteínas disueltas, para mantener una osmolaridad adecuada. Aunque estos carbohidratos no son metabolizados, son progresivamente eliminados de la circulación por los fagocitos, y el volumen sanguíneo disminuye lentamente. Los expansores plasmáticos se almacenan fácilmente, y su preparación en medio estéril asegura que no haya problemas de contaminación bacteriana o vírica. Aunque pueden suponer una solución temporal para la hipovolemia (volumen de sangre disminuido), los expansores plasmáticos no son capaces de incrementar la cuantía de oxígeno transportada a los tejidos periféricos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo afectaría a la estabilidad de tu temperatura corporal el enlentecimiento del flujo sanguíneo?
2. Si una persona es diagnosticada de hipovolemia, ¿cómo se modificaría la presión sanguínea?
3. ¿Por qué la sangre entera tiene una elevada viscosidad?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Elementos formes [v. tabla 20.3]

Los principales componentes celulares de la sangre son los *glóbulos rojos* y los *leucocitos*. Hay dos grandes clases de leucocitos: *granulares* (con gránulos) y *agranulares* (sin gránulos). Además, la sangre contiene elementos formes no celulares llamados *plaquetas* que participan en la coagulación sanguínea. La tabla 20.3 resume la información referente a los elementos formes sanguíneos.

Glóbulos rojos (GR) [v. figura 20.1]

Los glóbulos rojos (GR) o **eritrocitos** (*erythros*, rojo) suponen poco menos de la mitad del volumen total de la sangre (v. figura 20.1). El **hematocrito** es un valor que indica el porcentaje en el que contribuyen los elementos formes en la sangre entera. El hematocrito medio normal de los varones adultos es de 45 (rango: 40-54), la media para mujeres adultas es de 42 (rango: 37-47). Debido a que la sangre contiene aproximadamente 1.000 glóbulos rojos por cada glóbulo blanco, el hematocrito se aproxima bastante al volumen de los eritrocitos. Como resultado, los valores de hematocrito expresan habitualmente el **volumen del concentrado de eritrocitos (VCH)** o simplemente el **volumen concentrado celular (VCC).**

El número de eritrocitos en la sangre de un individuo normal resulta asombroso. Un microlitro (μL), o milímetro cúbico (mm^3), de sangre entera de un hombre contiene de media, 5,4 millones de eritrocitos; un microlitro de sangre de una mujer contiene aproximadamente 4,8 millones de eritrocitos. Existen aproximadamente 260 millones de glóbulos rojos en una única gota de sangre entera, y 25 trillones ($2{,}5 \times 10^{13}$) de GR en la sangre de un adulto.

Estructura de los GR [v. figura 20.2]

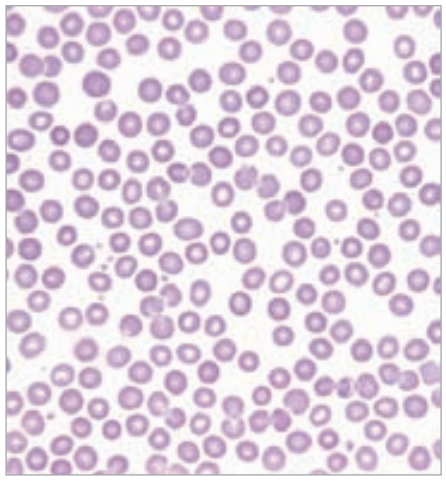
Los eritrocitos transportan tanto oxígeno como anhídrido carbónico dentro del sistema cardiocirculatorio. Están entre las células más especializadas del organismo, y su especialización anatómica se hace más aparente cuando se compara un glóbulo rojo con una célula del organismo «típica» [p. 29]. La figura 20.2a,b indica las diferencias significativas detectadas con microscopía óptica y microscopía electrónica. Cada glóbulo rojo es un disco bicóncavo con una región delgada central y un borde externo grueso (v. figura 20.2c). El diámetro de un eritrocito típico medido en un frotis sanguíneo convencional es de 7,7 μm; tiene un grosor máximo de aproximadamente 2,85 μm, aunque el centro se estrecha hasta cerca de 0,8 μm.

Esta inusual morfología bicóncava, que proporciona resistencia y flexibilidad, también proporciona a cada GR una superficie desproporcionadamente grande para una célula de su tamaño. La gran área de su superficie permite la rápida difusión entre el citoplasma del GR y el plasma circundante. A medida que la sangre circula desde los capilares pulmonares hacia los capilares de los

TABLA 20.3 Resumen de los elementos formes de la sangre

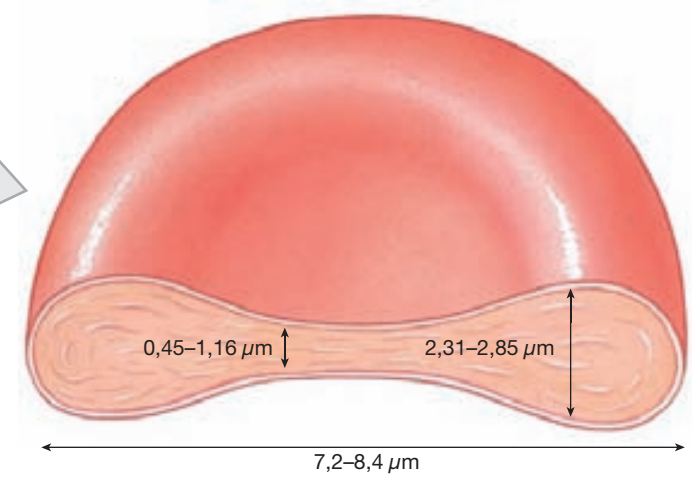
Elementos formes	Abundancia (por μL*)	Características	Funciones	Observaciones
GLÓBULOS ROJOS	5,2 millones (rango: 4,4-6 millones)	Discos bicóncavos sin núcleo, mitocondrias o ribosomas; color rojo debido a la presencia de moléculas de hemoglobina	Transportan oxígeno desde los pulmones a los tejidos, y anhídrido carbónico desde los tejidos a los pulmones	Expectativa de vida de 120 días; los aminoácidos y el hierro se reciclan; se producen en la médula ósea
GLÓBULOS BLANCOS	7.000 (rango: 6.000-9.000)			
Granulocitos				
Neutrófilos	4.150 (rango: 1.800-7.300) recuento diferencial 57%	Células redondeadas; el núcleo recuerda a una ristra de cuentas; el citoplasma contiene inclusiones grandes y pálidas	Fagocítica; engullen patógenos y restos en los tejidos	Sobreviven durante minutos o días, dependiendo de la actividad; producidos en la médula ósea
Eosinófilos	165 (rango: 0-700) recuento diferencial 2,4%	Células redondeadas; núcleo habitualmente en dos lóbulos; el citoplasma contienen grandes gránulos que se tiñen de rojo-naranja claro con tinciones ácidas	Atacan todo lo que está marcado con anticuerpos; importantes en la lucha contra infecciones parasitarias; suprimen la inflamación	Producidos en la médula ósea
Basófilos	44 (rango: 0-150) recuento diferencial 0,6%	Células redondeadas; núcleo habitualmente no visible por gránulos densos azul-púrpura en el citoplasma	Penetran en los tejidos dañados y liberan histamina y otras sustancias químicas	Ayudan a los mastocitos tisulares en el proceso de inflamación; producidos en la médula ósea
Agranulocitos				
Monocitos	456 (rango: 200-950) recuento diferencial 6,5%	Muy grandes, núcleo arriñonado; abundante citoplasma pálido	Penetran en los tejidos para convertirse en macrófagos libres; engullen patógenos y residuos	Fundamentalmente producidos en la médula ósea
Linfocitos	2.185 (rango: 1.500-4.000) recuento diferencial 30%	Ligeramente mayores que los GR; núcleo redondo, citoplasma muy escaso	Células del sistema linfático, proporcionan defensas frente a patógenos específicos o toxinas	Las células T atacan directamente; las células B forman plasmocitos que secretan anticuerpos; producidos en la médula ósea y tejidos linfáticos
PLAQUETAS	35.0000 (rango: 150.000-500.000)	Fragmentos de citoplasmas; contienen enzimas y proenzimas, no núcleo	Hemostasia: se agrupan y se pegan a la pared vascular (fase plaquetaria); activan la ruta intrínseca de la cascada de la coagulación	Producidas por los megacariocitos en la médula ósea

*Valores descritos como porcentajes. Recuento diferencial: porcentaje de glóbulos blancos circulantes.

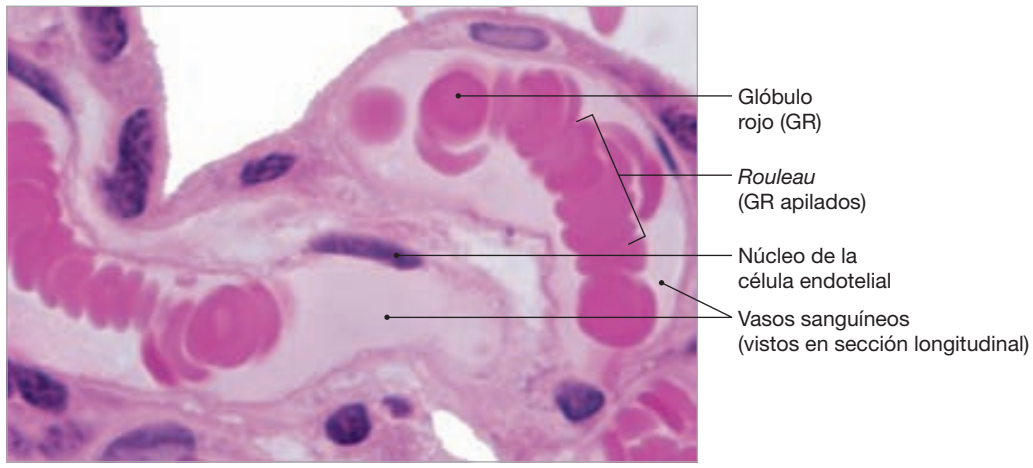


(a) Frotis sanguíneo

(b) MEB de los GR



(c) Vista de la sección de un GR



(d) Vista de la sección de los capilares

Figura 20.2 Histología de los glóbulos rojos
(a) Observados en un frotis sanguíneo estándar, los glóbulos rojos aparecen como objetos bidimensionales porque están aplastados contra la superficie del porta (MO × 477). **(b)** Microscopía electrónica de barrido de los glóbulos rojos que revela de modo bastante claro su estructura tridimensional (MEB × 1.838) **(c)** Vista de la sección de un glóbulo rojo. **(d)** Mientras se desplazan a través de capilares relativamente estrechos, los eritrocitos pueden apilarse como platos llanos, formando pilas (MO × 1.430).

tejidos periféricos y nuevamente retorna a los pulmones, los gases respiratorios son absorbidos y liberados por los GR. El área de superficie total de los glóbulos rojos en la sangre de un adulto prototipo es aproximadamente 3.800 m^2, 2.000 veces la superficie corporal total.

La forma bicóncava también les permite formar pilas como platos. Estas pilas, llamadas ***rouleaux*** («pequeños rollos»; en singular, *rouleau*), se forman y disocian repetidamente sin afectar a las células implicadas. Un *rouleau* puede pasar a través de un vaso sanguíneo apenas superior al diámetro de un único eritrocito (**v. figura 20.2d**), mientras que las células aisladas golpearían las paredes, se agruparían, y formarían grumos que podrían taponar el vaso. Finalmente, el delgado perfil del eritrocito dota a la célula de considerable flexibilidad; los eritrocitos pueden doblarse y flexionarse con aparente facilidad, y gracias al cambio de forma, los glóbulos rojos aislados pueden estrecharse dentro de capilares de pequeño diámetro, tortuosos o comprimidos.

Ciclo vital y circulación de los GR

Durante su diferenciación y maduración, los glóbulos rojos pierden la mayoría de sus orgánulos, reteniendo sólo un abundante citoesqueleto. Como resultado, los GR circulantes carecen de mitocondrias, retículo endoplásmico, ribosomas, y núcleo. (El proceso de formación de los GR se describirá en una sección posterior). Sin mitocondrias, estas células pueden obtener energía exclusivamente a través de metabolismo anaerobio, y dependen de la glucosa obtenida del plasma circundante. Este mecanismo asegura que el oxígeno absorbido será transportado a los tejidos periféricos y no «robado»por las mitocondrias en los GR. La ausencia de núcleo y ribosomas implica que no puede existir síntesis proteica; por ello, un GR no puede reemplazar enzimas o proteínas estructurales deterioradas.

Nota clínica

Anemia y policitemia La **anemia** se produce cuando la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre está reducida, disminuyendo el aporte de oxígeno a los tejidos periféricos. Esta reducción causa varios síntomas que incluyen fatiga muscular precoz, debilidad, letargo, y disminución generalizada de energía. Puede existir anemia porque el hematocrito sea anormalmente bajo o porque la cuantía de hemoglobina en los GR esté reducida. Pueden utilizarse análisis estándar de laboratorio para diferenciar los distintos tipos de anemia en función del número, tamaño, forma, y contenido de hemoglobina de los glóbulos rojos.

Se denomina **policitemia** a un hematocrito elevado con un volumen normal de sangre. Existen distintos tipos de policitemia. La **eritrocitosis**, una policitemia que afecta exclusivamente a los glóbulos rojos, será tratada más adelante en el capítulo. La **policitemia vera** («policitemia verdadera») aparece como resultado de un aumento en el número de todas las células sanguíneas. Muchas si no todas las células sanguíneas pueden desarrollarse a partir de una célula madre hematopoyética. El hematocrito puede llegar hasta 80-90, valores a partir de los cuales los tejidos se ven privados de oxígeno debido a que los glóbulos rojos bloquean los capilares más finos. Esta alteración raramente afecta a personas jóvenes; la mayoría de los casos afectan a personas entre los 60 y 80 años. Existen varias opciones terapéuticas, pero ninguna cura la enfermedad. La causa de la policitemia vera es desconocida, aunque existe evidencia de que esta enfermedad está asociada a la exposición a radiación.

Este es un serio problema debido a que el eritrocito está expuesto a un estrés severo. Atravesar un único circuito del sistema cardiocirculatorio habitualmente conlleva menos de 30 segundos. En este tiempo un GR aislado se apila en *rouleaux,* se retuerce y estrecha dentro de los capilares, y luego se reúne con sus compañeros en carrera de vuelta al corazón para iniciar otro ciclo. Debido a todo este desgaste y sin mecanismos de reparación, un eritrocito típico tiene un ciclo vital relativamente corto de aproximadamente 120 días. Tras viajar cerca de 1.100 km en 120 días, bien las roturas en la membrana plasmática o bien el envejecimiento de la célula son detectados y destruidos por las células fagocíticas. Cerca de un 1% de los eritrocitos circulantes son reemplazados cada día, y en el proceso aproximadamente 3 millones de nuevos eritrocitos entran en circulación *¡cada segundo!*

GR y hemoglobina [v. figura 20.3]

El eritrocito en desarrollo pierde todos sus componentes intracelulares no directamente relacionados con su función principal: el transporte de oxígeno y anhídrido carbónico. Un glóbulo rojo maduro consiste en una membrana plasmática que rodea a un citoplasma compuesto por agua (66%) y proteínas (alrededor de 33%). Las moléculas de **hemoglobina (Hb)** constituyen más del 95% de las proteínas eritrocitarias. La hemoglobina es la responsable de la capacidad de la célula para transportar oxígeno y anhídrido carbónico. La hemoglobina es un pigmento rojo; su presencia le da a la sangre su típico color rojo. La hemoglobina oxigenada tiene un color rojo claro, mientras que la hemoglobina desoxigenada tiene un color rojo oscuro. Esta constituye la diferencia entre la sangre arterial (rica en oxígeno) y la venosa (pobre en oxígeno).

Cada molécula de hemoglobina tiene una forma compleja. La molécula está compuesta de cuatro subunidades polipeptídicas: dos *cadenas alfa (α)* y dos *cadenas beta (β)*. Cada subunidad contiene una única molécula **hemo** (v. figura 20.3). Cada grupo hemo contiene un ión de hierro de tal modo que puede interaccionar con una molécula de oxígeno. La interacción hierro-oxígeno es muy débil, y se separan fácilmente sin dañar ni a la hemoglobina ni a la molécula de oxígeno. Existen aproximadamente 280 millones de moléculas de hemoglobina en cada glóbulo rojo normal, y dado que cada molécula de hemoglobina contiene cuatro grupos hemo, cada eritrocito podría transportar más de mil millones de moléculas de oxígeno. La hemoglobina también transporta cerca del 23% del anhídrido carbónico transportado en la sangre. El anhídrido carbónico se une a los aminoácidos de las subunidades de las globulinas en vez de competir con la unión del oxígeno con el hierro. La unión del anhídrido carbónico a las subunidades de globulinas es tan reversible como la del oxígeno al hemo.

A medida que los glóbulos rojos circulan a través de los capilares pulmonares, el oxígeno entra y el anhídrido carbónico abandona el plasma por difusión. A medida que los niveles de oxígeno se elevan, el oxígeno difunde hacia los GR y se une a la hemoglobina; a medida que los niveles plasmáticos de anhídrido carbónico disminuyen, la hemoglobina libera CO_2 que difunde al plasma. En otras palabras, los glóbulos rojos absorben oxígeno y liberan anhídrido carbónico. En los tejidos periféricos, la situación se invierte debido a que la actividad celular consume oxígeno y produce anhídrido carbónico. A medida que el flujo sanguíneo atraviesa estos tejidos, el oxígeno difunde fuera del plasma y el anhídrido carbónico entra. Entonces los GR liberan el oxígeno y absorben el CO_2.

Grupos sanguíneos [v. figura 20.4 y tabla 20.4]

El **grupo sanguíneo** de un individuo está determinado por la presencia o ausencia de componentes específicos de la membrana plasmática del eritrocito. La membrana plasmática de un eritrocito típico contiene un número de **antígenos de superficie,** o aglutininas, expuestas al plasma. Estos antígenos de superficie son glucoproteínas o glicolípidos cuyas características están genéticamente determinadas. Al menos 50 tipos distintos de antígenos de superficie han sido identificados en la superficie de los GR. Tres de ellos de particular importancia se han designado como antígenos de superficie **A, B** y **D (Rh).**

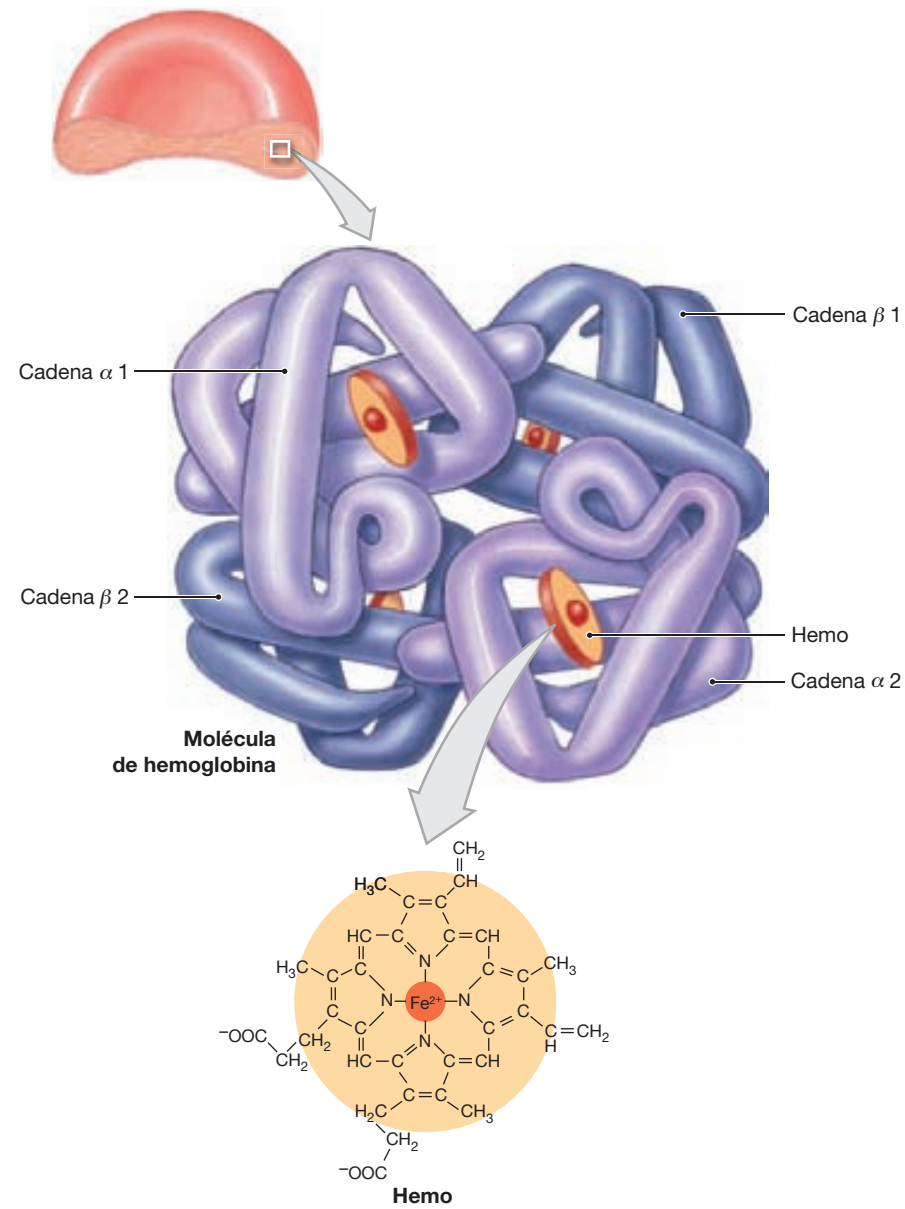


Figura 20.3 Estructura de la hemoglobina
La hemoglobina está formada por cuatro subunidades proteicas. Cada subunidad contiene una única molécula hemo, un anillo porfirínico que rodea un ión único de hierro. Es este el que se une de forma reversible a la molécula de oxígeno.

Nota clínica

Aumentar los niveles de hemoglobina La transfusión de sangre es un recurso limitado y las transfusiones entrañan riesgos. En un intento por desarrollar una alternativa menos arriesgada, actualmente se utilizan procesos de ingeniería genética para sintetizar una de las subunidades de hemoglobina humana normal, que puede ser introducida en la circulación para aumentar el transporte de oxígeno y el volumen total de sangre. Una estrategia alternativa consiste en extraer las moléculas de hemoglobina de los glóbulos rojos y anclarlas a moléculas transportadoras inertes que evitarán que se eliminen en los riñones. Un tercer abordaje se dirigiría a recursos naturales pero no humanos. La FDA ha aprobado recientemente un ensayo clínico con un sustituto sanguíneo llamado *Hemopure* que contiene hemoglobina purificada de ganado. Debido a que la hemoglobina es extraída de los eritrocitos e infundida sin plasma, no es factible que ocurran reacciones cruzadas.

Nota clínica

Anemia drepanocítica La anemia drepanocítica (AD) es la consecuencia de una mutación que afecta a la secuencia de aminoácidos de las cadenas beta de la molécula de hemoglobina. Cuando la sangre contiene abundante oxígeno, las moléculas de Hb y los GR que las transportan tienen un aspecto normal. Pero cuando el grupo hemo defectuoso libera una cantidad importante del oxígeno ligado, las moléculas adyacentes de hemoglobina se agrupan en bastones, y la célula se vuelve rígida y curva. Esta forma de hoz hace al GR frágil y fácilmente lesionable. Aún más, incluso los GR que han sido capaces de plegarse y apretarse dentro de capilares estrechos para repartir el oxigeno al tejido circundante, pueden quedar atascados a medida que adquieren esta forma de hoz. Como resultado se produce bloqueo de la circulación, y los tejidos cercanos quedan privados de oxígeno. Hoy en día, la anemia drepanocítica afecta aproximadamente al 0,2% de la población afroamericana, y del 0,07 al 0,1% de la población hispana de EE. UU.

Un individuo con anemia drepanocítica porta dos copias del gen anómalo: una de cada progenitor. Si sólo presenta una de las copias, ese individuo tendrá un *rasgo drepanocítico*. Uno de cada 12 afroamericanos porta el rasgo drepanocítico. Estos genes también están presentes en algunos individuos de ascendencia mediterránea, de los países del este europeos y del este de India.

En un individuo con rasgo drepanocítico, la mayor parte de la hemoglobina es normal y los GR funcionan con normalidad. Pero la presencia de la hemoglobina anómala dota al portador de una habilidad particular para resistir infecciones parasitarias que causa el **paludismo,** una enfermedad transmitida por un mosquito. El parásito de la malaria entra en el torrente circulatorio cuando un individuo es picado por un mosquito infectado. Los microorganismos invaden los GR y se reproducen dentro de ellos. Pero cuando entran en un GR de un individuo con rasgo drepanocítico, la célula responde adoptando la forma drepanocítica. La propia drepanocitosis puede matar al parásito o atraer la atención de los fagocitos que engullen al GR y destruyen el parásito. Por cualquiera de estos mecanismos, el individuo tolera mejor la infección parasitaria, mientras que los individuos sin rasgo drepanocítico se infectan y mueren de malaria con mayor facilidad.

Cuando los GR drepanocíticos quedan atascados en los capilares pequeños y obstruyen el flujo sanguíneo, se produce dolor y finalmente lesión de un número variable de órganos y sistemas, dependiendo de la localización y duración de la obstrucción. Además, los GR atrapados mueren y se rompen, produciendo la característica anemia hemolítica. Un GR normal permanece en la circulación 120 días; las células drepanocíticas desaparecen en 10-20 días. Esta pérdida rápida de GR daña al bazo y supera la tasa máxima de producción de GR. Las transfusiones de sangre normal pueden prevenir temporalmente el desarrollo de complicaciones adicionales, y el tratamiento de niños afectos con antibióticos reduce la muerte por infecciones. El aditivo dietético butirato, presente en las mantequillas y en otros productos, parece ser eficaz promoviendo la síntesis de hemoglobina fetal. En ensayos clínicos, ha sido eficaz como tratamiento de la anemia drepanocítica y otras enfermedades causadas por estructura anómala de la hemoglobina como la beta-talasemia.

Los eritrocitos de cada individuo tienen una combinación característica de antígenos de superficie (v. figura 20.4). Por ejemplo, la sangre de **tipo A** tienen el antígeno A, la de **tipo B** tiene el antígeno B, la de **tipo AB** tiene ambos y la de **tipo O** ninguno. Los porcentajes para la población de EE. UU. son tipo O, 46%, tipo A, 40%, tipo B, 10%, y tipo AB, 4%. Estos valores pueden variar entre distintos grupos raciales y étnicos (v. tabla 20.4).

La presencia del antígeno D o Rh, también llamado factor Rh, se indica con los términos **Rh positivo** (presente) o **Rh negativo** (ausente). Cuando se registra el grupo sanguíneo el término Rh habitualmente se omite y los datos se dan como O Negativo, A Positivo, etc.

Anticuerpos y reacciones cruzadas [v. figura 20.4] Probablemente usted sabe que se debe analizar el grupo sanguíneo antes de donar o recibir sangre. Los antígenos de superficie de los glóbulos rojos propios son ignorados por el sistema inmunitario (la capacidad para reconocer las células propias será analizada en el capítulo 23). Sin embargo, el plasma contiene anticuerpos (inmunoglobulinas) que atacarán antígenos de superficie «extraños». Estos anticuerpos se conocen como *aglutininas*. La sangre de los individuos del grupo A, grupo B, o grupo O siempre contiene anticuerpos que atacarán antígenos de superficie extraños (v. figura 20.4a). Por ejemplo, si una persona tiene el grupo sanguíneo A, su plasma contiene anticuerpos anti-B que atacarán los eritrocitos del grupo B (v. figura 20.4b). Si es del grupo B, su plasma contiene anticuerpos anti-A. En un individuo del grupo 0 los glóbulos rojos carecen de antígenos de superficie A o B, y el plasma contiene anticuerpos tanto anti-A como anti-B. En el extremo opuesto, el plasma de un individuo del grupo AB no contiene anticuerpos anti-A o anti-B.

Aunque una persona del grupo A nunca haya estado expuesta a sangre de grupo B, tendrá anticuerpos anti-B en su plasma. Por el contrario, el plasma de un sujeto Rh negativo no siempre contienen anticuerpos anti-Rh. Estos anticuerpos sólo están presentes si el individuo ha sido **sensibilizado** por exposiciones previas a eritrocitos Rh positivo. Dicha exposición puede ocurrir de forma accidental, durante una transfusión, pero también puede ocurrir durante una gestación aparentemente normal de una madre Rh negativo y un feto Rh positivo.

TABLA 20.4 Diferencias en la distribución de grupos sanguíneos

Población	Porcentajes de cada grupo sanguíneo				
	O	A	B	AB	Rh^+
EE. UU. (media)	46	40	10	4	**85**
Caucásicos	45	70	11	4	85
Afroamericanos	49	27	20	4	95
Chinos	42	27	25	6	100
Japoneses	31	39	21	10	100
Coreanos	32	28	30	10	100
Filipinos	44	22	29	6	100
Hawaianos	46	46	5	3	100
Nativos de América del Norte	79	16	4	<1	**100**
Nativos de América del Sur	100	0	0	0	**100**
Aborígenes australianos	44	56	0	0	100

Cuando un anticuerpo encuentra a su antígeno de superficie específico, ocurre una **reacción cruzada** (v. figura 20.4b). Inicialmente los glóbulos rojos se agrupan, un proceso llamado **aglutinación,** y también pueden romperse o **hemolizar.** Los grupos y fragmentos de glóbulos rojos atacados forman masas flotantes que pueden taponar los vasos pequeños de riñones, pulmones, corazón, o cerebro dañando o destruyendo los tejidos privados de riego. Esta reacción puede evitarse asegurando que el grupo sanguíneo de donante y receptor son **compatibles.** En la práctica, este procedimiento consiste en elegir un donante cuyas células sanguíneas no presentarán reacción cruzada con el plasma del receptor.

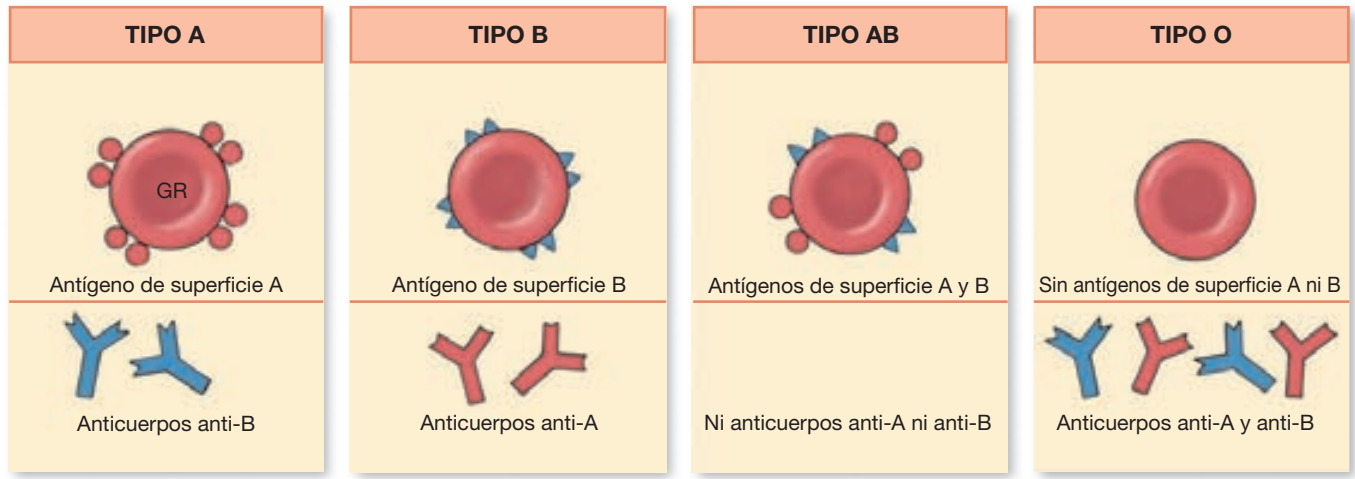


Figura 20.4 Tipaje sanguíneo
El tipaje sanguíneo depende de la presencia de antígenos en la superficie de los GR. El plasma contiene anticuerpos que reaccionan con antígenos de superficie extraños. Las frecuencias relativas de cada grupo sanguíneo en la población de EE. UU. se indican en la *tabla 20.4*.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si el valor de hematocrito de una mujer es 42, ¿cuál es el porcentaje de glóbulos rojos presentes en su sangre?
2. ¿Cómo influye la forma de los glóbulos rojos en el flujo sanguíneo y en la difusión de oxígeno?
3. Los glóbulos rojos no tienen núcleo ni ribosomas, ¿qué efecto tiene esto en su vida media?
4. Una persona del grupo sanguíneo AB puede recibir sangre de cualquier grupo sanguíneo. ¿Por qué?

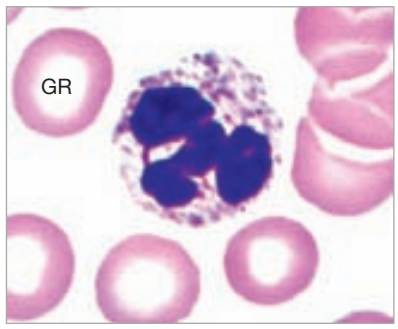
Véase «Respuestas» al final del libro.

Leucocitos [v. figura 20.5 y tabla 20.3]

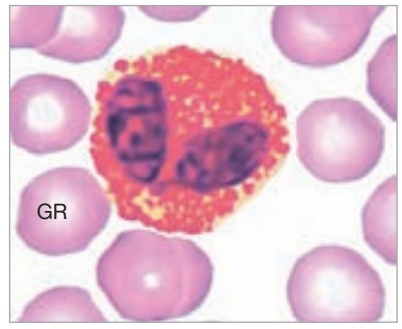
Los leucocitos (*leukos*, blanco), o glóbulos blancos (GB), están dispersos a lo largo de los tejidos periféricos. Los leucocitos circulantes representan sólo una pequeña fracción de la población total; la mayoría de los leucocitos del cuerpo se localizan en los tejidos periféricos. Los glóbulos blancos ayudan a defender el cuerpo contra la invasión de patógenos y a eliminar toxinas, residuos y células anómalas o dañadas. Los GB tienen núcleos de tamaño y forma característica (**v. figura 20.5**). Todos los GB son tan grandes o más que los GR. Existen dos grandes grupos de leucocitos: 1) **leucocitos granulares** o **granulocitos,** que tienen inclusiones de gran tamaño granulares en su citoplasma, y 2) **leucocitos agranulares** o **agranulocitos,** que no poseen gránulos citoplasmáticos visibles con microscopio óptico. Los granulocitos y agranulocitos más representativos se muestran en la **figura 20.5**.

Un microlitro tipo de sangre contiene 6.000-9.000 GB. El término **leucopenia** indica la existencia de un número de leucocitos inadecuado, un recuento inferior a 2.500 por μL habitualmente indica la presencia de una enfermedad grave. La **leucocitosis** se refiere a un número excesivo de leucocitos; un recuento superior a 30.000 por μL habitualmente indica una alteración grave. Un frotis de sangre teñido puede mostrar un **recuento diferencial** de la población de glóbulos blancos. Los valores obtenidos indican el número de cada tipo celular encontrado en una muestra de 100 glóbulos blancos. El rango normal para cada tipo celular se indica en la tabla 20.3. Las terminaciones *-penia* y *-osis* pueden utilizarse para indicar bajo o alto número, respectivamente, de tipos específicos de glóbulos blancos. Por ejemplo, *linfopenia* significa muy pocos linfocitos y *linfocitosis* significa un número inusualmente elevado.

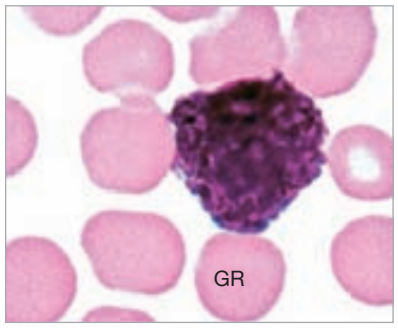
Los leucocitos tienen una vida media muy corta, típicamente de sólo unos pocos días. Cuando un área es dañada o invadida por un organismo extraño, el leucocito puede migrar a través de la capa endotelial de un capilar estrechándose entre células endoteliales adyacentes. Este proceso es conocido como **diapedesis.** El flujo sanguíneo proporciona un rápido transporte para los GB hacia esos puntos de lesión, donde estos son atraídos por señales químicas de inflamación o infección en los líquidos intersticiales adyacentes. Esta atracción inducida por estímulos químicos específicos, denominada **quimiotaxis,** los



(a) Neutrófilo

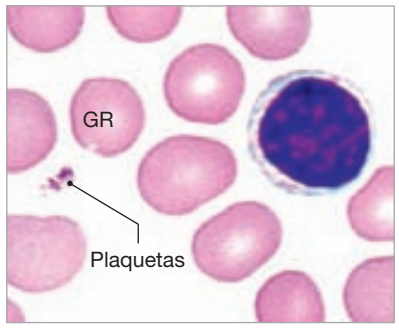


(b) Eosinófilo



(c) Basófilo

(d) Monocito



(e) Linfocito

Figura 20.5 Histología de los glóbulos blancos
Compasión histológica de los leucocitos tal y como se observan en el frotis sanguíneo. **(a)** Neutrófilo. **(b)** Eosinófilo. **(c)** Basófilo. **(d)** Monocito. **(e)** Linfocito. Las plaquetas se ven en parte (e) como fragmentos celulares entre los GR (MO × 1.500).

dirige hacia los patógenos invasores, los tejidos dañados, o los glóbulos blancos ya presentes en los tejidos dañados.

Leucocitos granulares

Los leucocitos granulares se subdividen en función de sus características tinciones en *neutrófilos, esinófilos* y *basófilos*. Los neutrófilos y los eosinófilos son importantes células fagocíticas que participan en la respuesta inmune.

Neutrófilos [v. figura 20.5a] Entre el 50% y el 70% de los leucocitos circulantes son **neutrófilos.** Se denominan neutrófilos porque su citoplasma está relleno de gránulos pálidos y de tinción neutral que contienen compuestos enzimáticos lisosomales y bactericidas (matan bacterias). Cada neutrófilo maduro (**v. figura 20.5a**) tiene un diámetro de 12-15 μm, casi el doble que el de un glóbulo rojo. El neutrófilo tiene un núcleo muy denso y retorcido que puede estar condensado en una serie de lóbulos como eslabones de una cadena. Este atributo ha dado a estas células otro nombre, **leucocitos polimorfonucleares** (*poli*, muchas, *morfo*, formas) o **PMN.**

Los neutrófilos son muy móviles y son habitualmente los primeros en llegar de los GB al lugar de la lesión. Son fagocitos muy activos, especializados en atacar y digerir bacterias. Los neutrófilos tienen habitualmente una vida media corta, sobreviviendo cerca de 12 horas. Tras engullir activamente residuos y patógenos, el neutrófilo muere, pero su ruptura libera sustancias químicas que atraen a otros neutrófilos a la zona, y otras que tienen una amplia actividad antibiótica contra los patógenos.

Eosinófilos [v. figura 20.5b] Los **eosinófilos,** también llamados **acidófilos,** reciben este nombre debido a que sus gránulos se tiñen con eosina, un tinte rojo ácido. Los eosinófilos son similares en tamaño a los neutrófilos y representan el 2%-4% de los GB circulantes. Estas células tienen unos gránulos intensamente rojos y un núcleo bilobulado (dos lóbulos) que hace a los eosinófilos fácilmente identificables (**v. figura 20.5b**). Los eosinófilos son células fagocíticas atraídas por compuestos extraños que han reaccionado con anticuerpos circulantes. El número de eosinófilos aumenta espectacularmente durante reacciones alérgicas o infecciones parasitarias. Los eosinófilos también son atraídos hacia los lugares de lesión, donde liberan enzimas que reducen el grado de inflamación y controlan su extensión hacia los tejidos adyacentes.

Basófilos [v. figura 20.5c] Los **basófilos** se denominan así debido a los numerosos gránulos que se tiñen con colorantes básicos. Estas inclusiones se tiñen de un color azul o púrpura oscuro con las tinciones habitualmente utilizadas en el frotis sanguíneo estándar (**v. figura 20.5c**). Los basófilos son relativamente raros, constituyendo menos del 1% de la población de leucocitos. Migran hacia los lugares de lesión y atraviesan el endotelio capilar para acumularse en los tejidos dañados, donde descargan sus gránulos en el líquido intersticial. Estos gránulos contienen histamina, que dilata los vasos sanguíneos, y heparina, un compuesto que previene la coagulación sanguínea. La liberación de estas sustancias químicas incrementa la respuesta inflamatoria en la lesión aumentando la permeabilidad de los capilares y de las vénulas. Los basófilos también liberan sustancias químicas que estimulan a los mastocitos y atraen a los basófilos y a otras células blancas a esa área[1].

Leucocitos agranulares

La sangre circulante contiene dos tipos de leucocitos agranulares: *monocitos* y *linfocitos*. Son diferentes estructural y funcionalmente.

Monocitos [v. figura 20.5d] El mayor de los GB es el **monocito.** Tienen un diámetro de 16-20 μm, entre dos y tres veces el diámetro de un GB típico. Estas células constituyen el 2%-8% de la población de GB. Normalmente son prácticamente esféricas, y cuando se extienden en un frotis sanguíneo aún parecen mayores; son relativamente fáciles de identificar por su tamaño y la forma de su núcleo. Cada célula tienen un gran núcleo ovalado o de forma arriñonada (**v. figura 20.5d**). Los monocitos sólo circulan durante unos días antes de entrar en los tejidos periféricos. Fuera del torrente sanguíneo, los monocitos se denominan *macrófagos libres*, para distinguirlos de los *macrófagos fijos* que se encuentran en muchos tejidos conjuntivos [pp. 62-63]. Los macrófagos libres son células fagocíticas muy móviles. Llegan habitualmente al lugar de lesión poco después de los neutrófilos. Mientras fagocitan, los macrófagos libres y fijos liberan sustancias químicas que atraen y estimulan a otros monocitos y otras células fagocíticas. Los macrófagos activados también secretan sustancias que atraen a los fibroblastos a la zona. Los fibroblastos inician la formación de densas redes

[1] La histamina y otras sustancias químicas se encuentran también en los gránulos de los mastocitos, las células del tejido conjuntivo introducidas en el capítulo 3, p. 63, y los mastocitos en los tejidos conjuntivos dañados también liberan sus gránulos. No obstante, ambas células están separadas y diferenciadas.

de fibras de colágeno alrededor de esa zona. Este *tejido cicatricial* puede finalmente aislar la zona lesionada. Los monocitos son uno de los componente del **sistema monocito-macrófago** que incluye tipos celulares relacionados, como los macrófagos fijos y células más especializadas como la microglía de SNC, las células de Langerhans de la piel, las células fagocíticas del hígado y los ganglios linfáticos.

Linfocitos [v. figura 20.5e] Los **linfocitos** típicos tiene un citoplasma muy pequeño, sólo un delgado halo que rodea un núcleo relativamente grande y redondo y teñido de púrpura (**v. figura 20.5e**). Los linfocitos son generalmente ligeramente mayores que los GR y constituyen el 20%-30% de la población de GB. Los linfocitos sanguíneos representan una fracción minúscula de la población total de linfocitos, puesto que los linfocitos son la célula principal del **sistema linfático,** una red de órganos y vasos distintos, pero conectados a los del aparato cardiovascular.

Los linfocitos son los responsables de la *inmunidad específica*: la capacidad del organismo para organizar un contraataque contra patógenos invasores o proteínas extrañas de *modo selectivo*. Los linfocitos responden a dichas amenazas de tres formas. Un grupo de linfocitos, denominado **células T**, penetra en los tejidos periféricos y ataca directamente a las células extrañas.

Otro grupo de linfocitos, las **células B,** se diferencian de los plasmocitos (células plasmáticas) que secretan anticuerpos que atacan a las células o proteínas extrañas en distintas áreas del organismo. Las células T y B no pueden ser distinguidas por microscopia óptica. Las **células NK,** un tercer grupo, ocasionalmente denominado *linfocitos grandes granulares*, son responsables de la *vigilancia inmune*, la destrucción de tejidos anómalos. Estas células son importantes en la prevención del cáncer (el sistema linfático y la inmunidad se tratan en el capítulo 23.)

Plaquetas [v. figuras 20.5e/20.6/20.7]

Las plaquetas son delgados paquetes rodeados por membrana, que tienen aspecto redondeado cuando se observan desde arriba (**v. figura 20.5e**) y fusiformes en un corte transversal. Inicialmente se creía que las plaquetas eran células que habían perdido su núcleo, porque en vertebrados distintos de los mamíferos sus funciones las realizan pequeñas células nucleadas sanguíneas. Los histólogos denominaban a todas estas células **Trombocitos** (*thrombos*, coágulo). El término aún permanece en uso, aunque en los mamíferos el término *plaqueta* es más adecuado dado que son paquetes enzimáticos, no células individuales.

La médula ósea normal contiene un número de células muy atípicas, denominadas **megacariocitos** (*mega*, grande + *karion*, núcleo + *cito*, célula). Como sugiere el nombre, son células enormes (hasta 160 μm de diámetro) con grandes núcleos (**v. figura 20.6**). Estos núcleos densos pueden ser lobulados o anulares y el citoplasma circundante contiene aparato de Golgi, ribosomas y mitocondrias en abundancia. El plasmalema se comunica con una extensa red de membranas que se ramifica a través del citoplasma periférico.

Durante su desarrollo y crecimiento, los megacariocitos fabrican proteínas estructurales, enzimas y membranas. Empiezan entonces a emitir citoplasma en pequeños paquetes rodeados de membrana. Estos paquetes son las plaquetas que entran en la circulación. Un megacariocito maduro pierde gradualmente todo su citoplasma, produciendo en torno a 4.000 plaquetas antes de que el núcleo sea engullido por fagocitos y destruido para su reciclado.

Las plaquetas son reemplazadas continuamente, y una plaqueta individual circula durante 10-12 días antes de ser eliminada por los fagocitos. Un microlitro de sangre circulante contiene un promedio de 350.000 plaquetas. Cerca de un tercio de las plaquetas del organismo están guardadas en el bazo y otros órganos vasculares en vez de en la sangre circulante. Estas reservas pueden ser movilizadas cuando ocurre una crisis circulatoria, como sangrado severo. El recuento anormalmente bajo de plaquetas (80.000 por μL o menos) se conoce

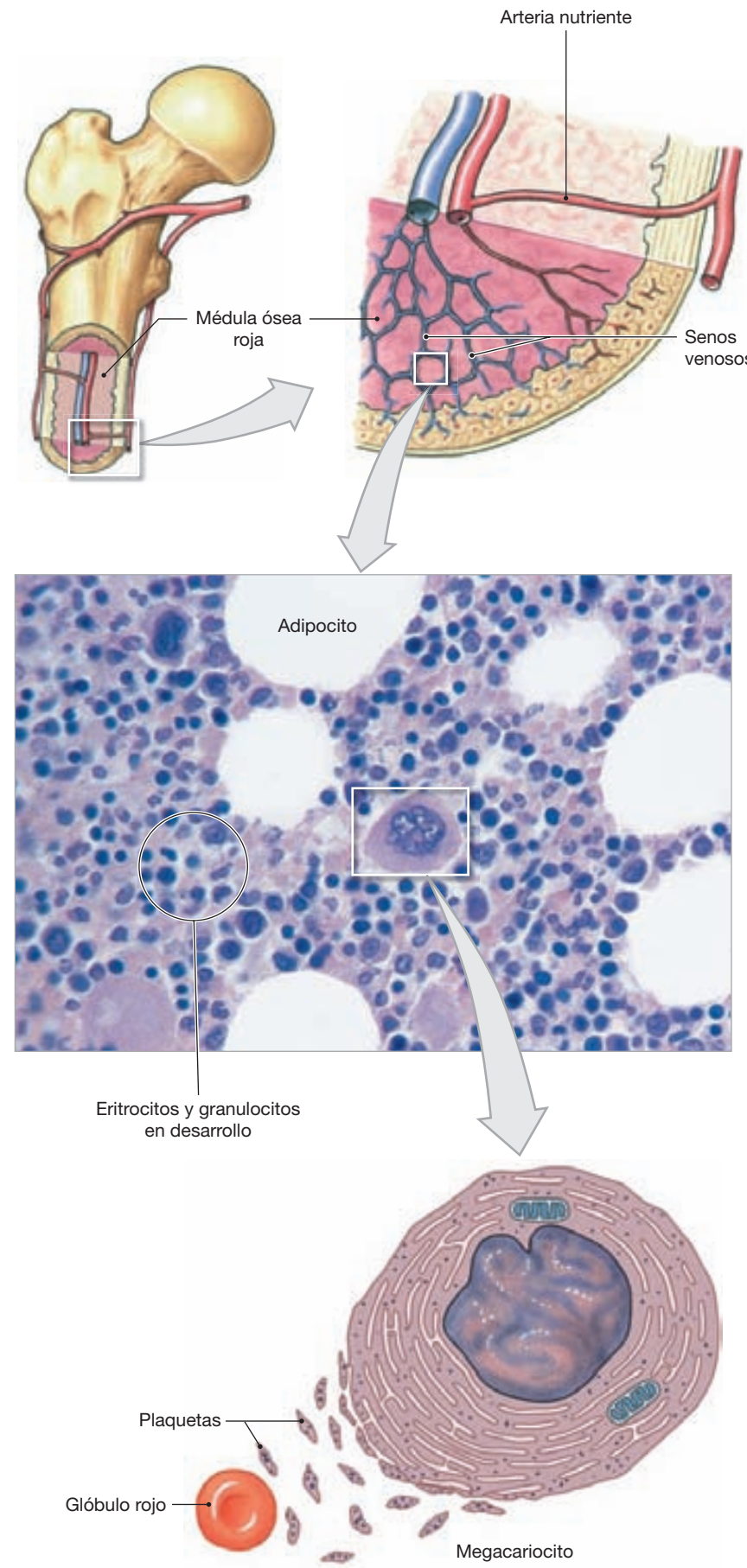


Figura 20.6 Histología de los megacariocitos y formación de las plaquetas
Histológicamente, los megacariocitos destacan en los cortes de la médula ósea debido a su enorme tamaño y la forma inusual de su núcleo. Estas células están continuamente eliminando fragmentos de su citoplasma que penetran en la circulación como plaquetas (MO × 673).

Nota clínica

Hemofilia La **hemofilia** es una de muchas enfermedades hereditarias caracterizada por producción inadecuada de factores de la coagulación. La incidencia de esta enfermedad en la población general es de aproximadamente 1 por 10.000, siendo los varones el 80%-90% de los afectados. En la hemofilia A, está reducida la producción de un único factor sanguíneo; la severidad de esta situación depende del grado de reducción. En los casos severos, se producen hemorragias graves como consecuencia de leves tensiones mecánicas, y aparecen hemorragias espontáneas en las articulaciones y alrededor de los músculos.

La transfusión de factores de la coagulación frecuentemente logra reducir o controlar los síntomas de la hemofilia, pero es necesario obtener muestras de varios individuos *(pool)* para obtener cantidades adecuadas de los factores de la coagulación. Este método de combinación de muestras es muy caro y aumenta el riesgo de infección por enfermedades de transmisión sanguínea como hepatitis o SIDA. Se han usado técnicas de ingeniería genética para fabricar el factor de la coagulación que está más frecuentemente afectado (factor VIII). Aunque la producción está actualmente limitada, este proceso podrá en un futuro aportar un método más seguro de tratamiento.

como **trombocitopenia** e indica excesiva destrucción de plaquetas o inadecuada producción de las mismas. Los síntomas incluyen sangrado en el tracto digestivo, sangrado cutáneo y ocasionalmente sangrado en el SNC. Los recuentos plaquetarios en la **trombocitosis** pueden superar el 1.000.000 por μL, lo que habitualmente ocurre por una producción acelerada de plaquetas en respuesta a infección, inflamación o cáncer.

Las plaquetas son uno de los participantes en el sistema de coagulación vascular, en el que también se incluyen las proteínas plasmáticas y las células y tejidos del sistema circulatorio. El proceso de **hemostasia** (*haima,* sangre + *stasis*, parar) previene la pérdida de sangre a través de la pared de los vaso dañados. Haciendo esto, limita la pérdida de sangre y también establece un armazón para la reparación tisular. En la **figura 20.7** se muestra un fragmento de un coágulo sanguíneo.

La homeostasis implica una compleja cadena de eventos, y una alteración de cualquiera de los pasos puede interrumpir el proceso total. Además, existen requisitos generales, por ejemplo, el déficit de calcio iónico o de vitamina K interfiere virtualmente en todos los aspectos de la hemostasia.

Entre las funciones de las plaquetas se encuentran las siguientes:

1. *Transporte de sustancias químicas importantes para el proceso de coagulación:* mediante la liberación de enzimas y otros factores en el momento adecuado, la plaqueta ayuda a iniciar y controlar el proceso de la coagulación.
2. *Formación de un parche temporal en la pared de los vasos sanguíneos dañados*: las plaquetas se agrupan en cualquier lugar donde exista lesión, formando un tapón plaquetario que puede enlentecer la pérdida de sangre mientras ocurre la coagulación.
3. *Contracción activa una vez que se ha producido la formación del coágulo*: las plaquetas contienen filamentos de actina y miosina que pueden interactuar para producir contracción que las acorte. Tras la formación del coágulo sanguíneo, la contracción de la plaqueta reduce el tamaño del coágulo y une los bordes de la pared vascular.

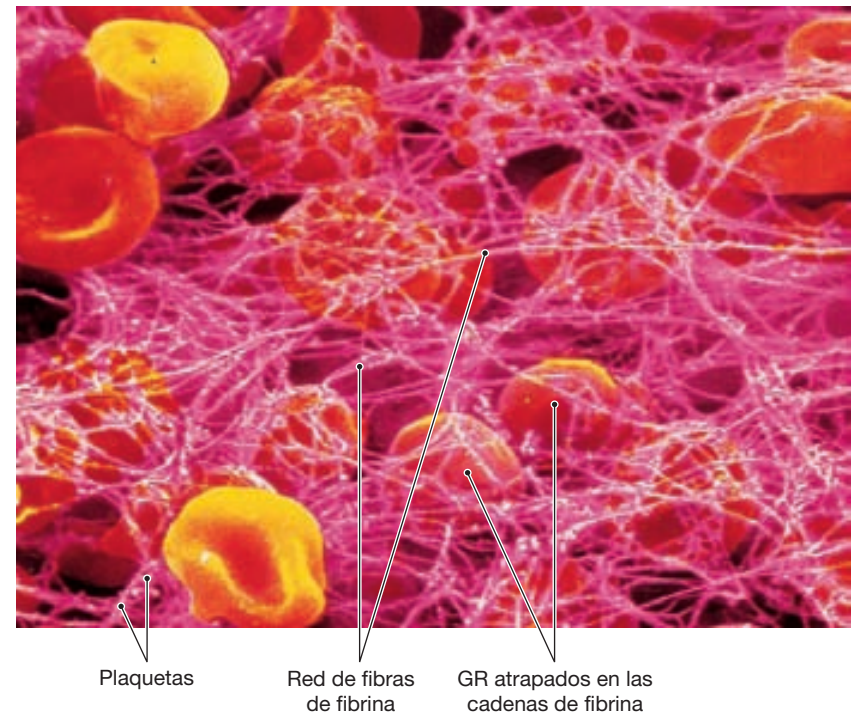


Figura 20.7 Estructura del coágulo sanguíneo
Microscopia electrónica de barrido en color mostrando la red de fibras que forma el esqueleto del coágulo. Los glóbulos rojos atrapados en el coágulo se suman a su masa y le dan color rojo (MEB × 4.625).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de glóbulos blancos esperaría encontrar en mayor número en una herida infectada?
2. ¿Qué es la trombocitosis y cuándo ocurre?
3. Si se produce una reacción alérgica, ¿qué tipo de glóbulo blanco aumentaría espectacularmente?
4. ¿Cuál es la función de los gránulos de los basófilos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Hematopoyesis [v. figura 20.8]

El proceso de formación de las células sanguíneas se conoce como **hematopoyesis.** Las células sanguíneas aparecen en la circulación en la tercera semana del desarrollo embrionario. Estas células se dividen repetidamente, aumentando su número. A medida que aparecen otros órganos y sistemas, algunas de las células embrionarias abandonan la circulación hacia el hígado, el bazo, el timo y la médula ósea (**v. figura 20.8**). Estas células embrionarias se diferencian en células madre que producen células sanguíneas de su división. A medida que el esqueleto crece, la médula ósea se vuelve cada vez más importante; en el adulto es el principal lugar de formación de células sanguíneas.

Las células madre, llamadas **células madre pluripotenciales (CMPP),** o *hemocitoblastos*, dan finalmente origen a todas las células sanguíneas, pero este proceso ocurre mediante una serie de pasos independientes. Las células madre pluripotenciales dan lugar a dos células madre multipotenciales: **células madre mieloide multipotenciales (células madre mieloides**) y **células madre linfáticas multipotenciales (células madre linfáticas).** La célula madre mieloide se divide para formar cinco tipos distintos de células madre, cada una de ellas con funciones relativamente restringidas. Dos de estas células madre son responsables de la producción de glóbulos rojos y

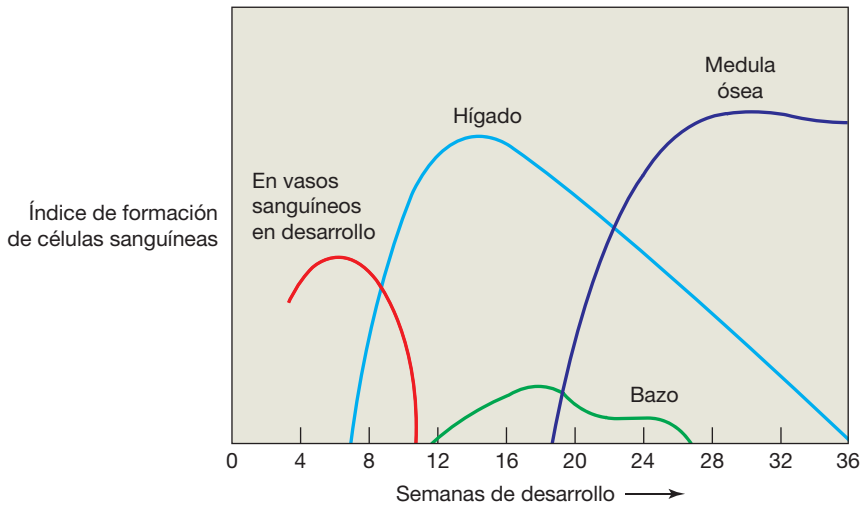
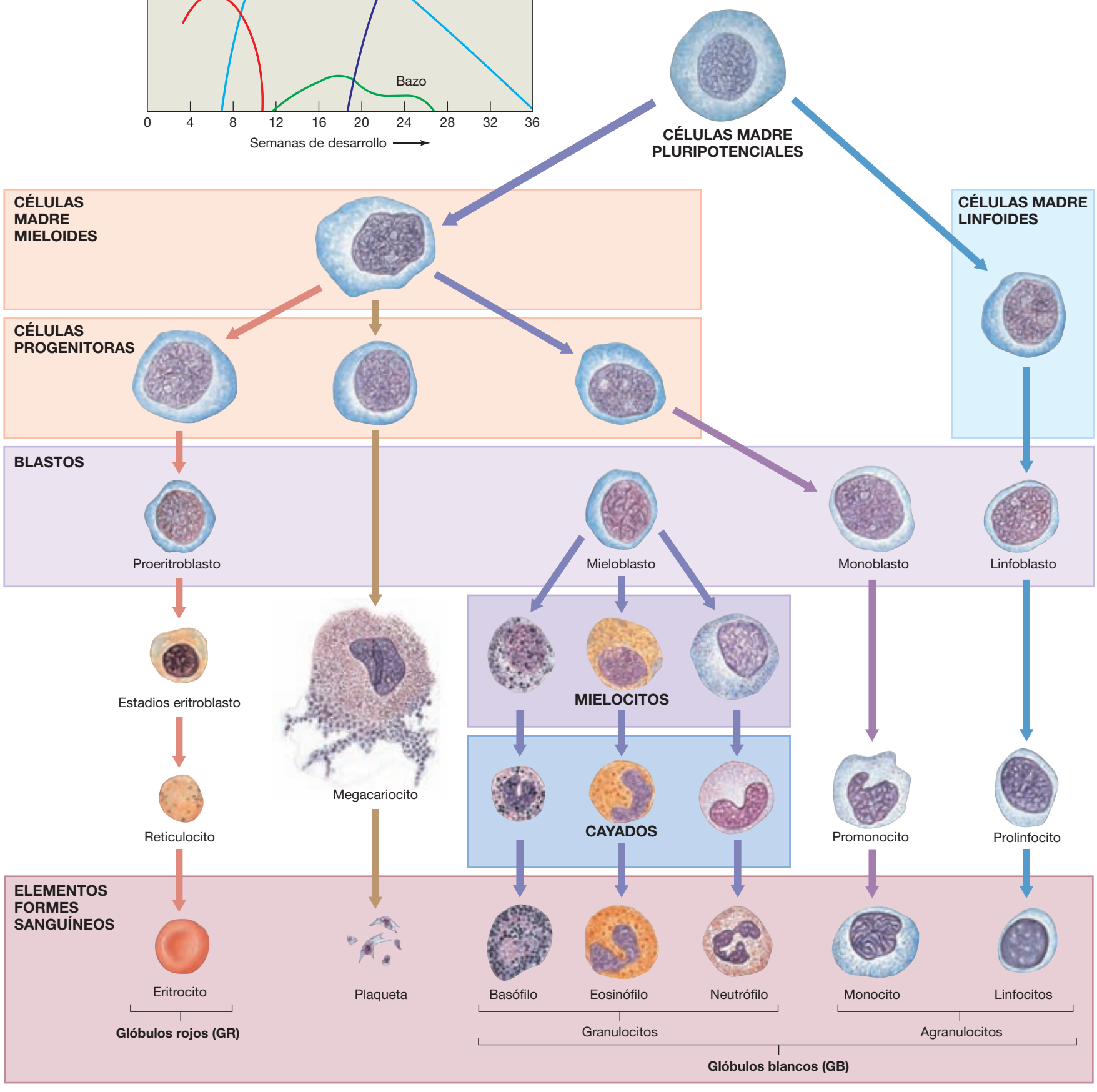


Figura 20.8 Origen y diferenciación de los elementos formes
Las células madre pluripotenciales dan lugar a células madre mieloides y linfáticas. Las células madre mieloides producen células progenitoras, que se dividen para producir los varios tipos de células sanguíneas. El gráfico indica las principales localizaciones de formación de células durante el desarrollo embrionario y fetal.



megacariocitos, mientras que las otras tres células madre son responsables de la formación de varios tipos de leucocitos (v. figura 20.8). La célula madre linfática se dividirá para formar dos tipos distintos de célula madre. Estas dos tienen funciones relativamente restringidas, con una de las células madre destinada a formar finalmente plasmocitos y la otra célula madre a formar células T.

Eritropoyesis [v. figuras 20.8/20.6]

La **eritropoyesis** se refiere específicamente a la formación de eritrocitos (v. figura 20.8). La médula ósea es el principal sitio de formación de células sanguíneas en el adulto (v. figura 20.6). La médula roja se encuentra en porciones de las vértebras, esternón, costillas, cráneo, escápula, pelvis y huesos largos proximales. En circunstancias extremas, la **médula amarilla** grasa localizada en otros huesos puede convertirse en médula roja. Por ejemplo, esta conversión ocurre tras una pérdida severa y mantenida de sangre, aumentando de esta manera la tasa de formación de glóbulos rojos. Para que la eritropoyesis ocurra con normalidad, los tejidos mieloides deben recibir adecuado suministro de aminoácidos, hierro, y **vitamina B12,** una vitamina obtenida de los productos lácteos y de la carne.

Nota clínica

Sangre sintética A pesar de la mejoría en la tecnología de la transfusión, continúa existiendo escasez de sangre y preocupación por la seguridad. Además, algunas personas pueden ser incapaces o reacias para aceptar transfusiones por circunstancias médicas o religiosas. Por este motivo ha habido un interés creciente en numerosos intentos recientes para desarrollar compuestos sanguíneos sintéticos.

Los **sustitutos de la sangre entera** son soluciones altamente experimentales que aún están bajo evaluación clínica. Además de los agentes osmóticos encontrados en los expansores plasmáticos, estas soluciones contienen pequeños acúmulos de moléculas sintéticas constituidas por átomos de carbono y flúor. La mezcla, conocida como **emulsiones perfluoroquímicas (PFQ),** puede transportar aproximadamente el 70% del oxígeno de la sangre entera. Se ha mantenido a animales con vida tras recambio transfusional reemplazando por completo su sangre circulante con una emulsión PFQ.

Las soluciones PFQ tienen las mismas ventajas que otros expansores sanguíneos, además del beneficio añadido del transporte de oxígeno. Debido a que no se involucra a los GR, las emulsiones PFQ pueden transportar oxígeno a regiones donde los capilares han sido parcialmente bloqueados por depósitos grasos o coágulos sanguíneos. Desgraciadamente, los PFQ no absorben oxígeno de forma tan eficaz como la sangre normal. Para asegurar que los PFQ aportan oxígeno adecuado a los tejidos periféricos, el individuo debe respirar aire rico en oxígeno, habitualmente a través de una máscara de oxígeno. Además, los fagocitos engloban los acúmulos de PFQ. Estos problemas han limitado el uso de PFQ en humanos. Sin embargo, una solución de PFQ, *Fluosol*, ha sido utilizada para aumentar el aporte de oxígeno al músculo cardíaco durante cirugía cardíaca.

Otra aproximación afecta a la fabricación de eritrocitos en miniatura encerrando pequeños paquetes de hemoglobina en membranas lipídicas. Estos **neohematocitos** son esféricos, con un diámetro de menos de 1 μm, y pueden pasar fácilmente a través de vasos estrechos o parcialmente taponados. El mayor problema de esta técnica es que los fagocitos tratan a los neohematocitos como fragmentos de eritrocitos normales, por lo que sólo permanecen en la circulación unas 5 horas.

La eritropoyesis está regulada por la **hormona estimuladora de la eritropoyesis,** o **eritropoyetina (EPO),** de la cual ya se habló en el capítulo 19 [p. 113].

La eritropoyetina es producida y secretada en condiciones de hipoxia (bajo oxígeno), fundamentalmente en los riñones. La eritropoyetina tiene dos efectos fundamentales:

- Estimula la tasa de división de los eritroblastos y de las células madre que producen eritroblastos; y
- Acelera la maduración de los GR, primordialmente acelerando la tasa de síntesis de hemoglobina. Bajo máxima estimulación de EPO, la médula ósea puede incrementar la tasa de formación de células rojas sanguíneas 10 veces, hasta aproximadamente 30 millones por segundo.

Estadios en la maduración de los GR [v. figura 20.8]

Una célula roja en maduración atraviesa una serie de estados evolutivos. Los **hematólogos,** especialistas en la formación y función de la sangre, han dado nombres específicos a estadios clave (v. figura 20.8). Los **eritroblastos** son células rojas sanguíneas muy inmaduras que pueden sintetizar activamente hemoglobina. Tras expulsar su núcleo, estas células se convierten en **reticulocitos,** el último paso en el proceso de maduración. Los reticulocitos entran en la circulación y gradualmente adoptan la apariencia de eritrocitos maduros. Los reticulocitos en maduración habitualmente constituyen el 0,8% de la población de GR.

Leucopoyesis [v. figura 20.8]

Las células madre responsables de la producción de los glóbulos blancos (**leucopoyesis)** se originan en la médula ósea (v. figura 20.8). Los granulocitos completan su desarrollo en la médula ósea; los monocitos empiezan su diferenciación en la médula ósea, salen a la circulación, y completan su desarrollo cuando se convierten en macrófagos libres en los tejidos periféricos. Las células madre responsables de la producción de linfocitos, un proceso conocido como **linfopoyesis,** también se originan en la médula ósea, pero muchas de ellos migran posteriormente al timo. La médula ósea y el timo se denominan *órganos linfáticos primarios* porque la división de células madre indiferenciadas en estas localizaciones producen células hijas destinadas a convertirse en linfocitos especializados. Las células B y NK inmaduras se producen en la médula ósea y las células T inmaduras en el timo. Estas células pueden posteriormente migrar a los *órganos linfáticos secundarios,* como el bazo, las amígdalas o los ganglios linfáticos. Aunque conservan la capacidad de dividirse, su división siempre produce células del mismo tipo, de forma que una célula T en división produce células T hijas y no células NK o B. Hablaremos de la formación de los linfocitos con más detalle en el capítulo 23.

Los factores que regulan la maduración linfocitaria aún no se conocen por completo; sin embargo, antes de la madurez, las hormonas del timo promueven la diferenciación y mantenimiento de la población de células T. Varias hormonas, colectivamente denominadas **factores de estimulación de colonias (CSF),** están envueltas en la regulación de otras poblaciones de glóbulos blancos. Los CSF disponibles en el comercio se utilizan actualmente para estimular la producción de GB en individuos en tratamientos quimioterápicos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son los dos principales efectos de la eritropoyetina?
2. ¿Cuál es la función de las células madre pluripotenciales?
3. ¿Qué estadio marca la expulsión del núcleo en la maduración de los glóbulos rojos?
4. ¿Qué célula expulsa paquetes de citoplasma para producir plaquetas?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Dopaje con sangre La práctica de varias formas **de dopaje con sangre** se ha extendido entre los atletas de competición que participan en deportes de resistencia como el ciclismo.

Uno de los procedimientos consiste en extraer sangre de atletas semanas antes de la competición. Los concentrados de eritrocitos se separan del plasma y se almacenan. Hasta el momento de la carrera, la médula ósea del participante habrá reemplazado la sangre perdida.

Inmediatamente antes de la competición, el concentrado de eritrocitos es reinfundido, aumentando el hematocrito. El objetivo es aumentar la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, y por tanto la resistencia. La consecuencia es que el corazón del atleta es sometido a un tremendo esfuerzo. Los efectos a largo plazo son desconocidos, pero esta práctica conlleva un riesgo significativo de infarto cerebral o cardíaco; ha sido recientemente abandonada en deportistas amateur. El entrenamiento en grandes altitudes es un método más seguro y es una alternativa actualmente aceptable.

Dado que actualmente puede ser sintetizada utilizando técnicas de recombinación de ADN, la EPO puede ser obtenida por individuos que deseen obviar estas reglas. Aunque el uso de esta droga puede ser difícil de detectar por las autoridades, los individuos que la usan están corriendo el mismo riesgo que aquellos que practican el dopaje sanguíneo. Entre los últimos 5 y 10 años, la muerte de 18 ciclistas europeos y la descalificación de varios atletas olímpicos durante las Olimpíadas de invierno de 2002 se atribuyó al dopaje con sangre, al uso de EPO o a ambos.

TÉRMINOS CLÍNICOS

anemia: Condición en la que la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre está reducida debido a un valor de hematocrito bajo o a disminución de la concentración de hemoglobina sanguínea.

anemia aplásica: Anemia causada por fracaso de la médula ósea, que conduce a un hematocrito bajo y a una disminución del recuento de reticulocitos.

anemia hemorrágica: Anemia causada por hemorragia grave, caracterizada por un hematocrito y hemoglobina bajos, pero recuento normal de GR.

concentrado de eritrocitos (CH): Glóbulos rojos que han sido separados casi por completo del plasma.

embolia: Situación en la que un coágulo circulante queda atrapado en un vaso sanguíneo, bloqueando la circulación en el área que irriga.

enfermedad hemolítica del recién nacido (EHRN): Anemia en el neonato habitualmente causada por incompatibilidad entre los grupos sanguíneos materno (Rh-) y fetal (Rh+).

hemofilia: Una de muchas enfermedades hereditarias caracterizada por producción inadecuada de factores de la coagulación.

normocítico: Término que se refiere a los glóbulos rojos de tamaño normal.

normocrómico: Situación en la que los glóbulos rojos contienen una cantidad adecuada de hemoglobina.

normovolémico: Condición de tener un volumen sanguíneo normal.

placa: Zona anómala de un vaso sanguíneo donde se acumulan grandes cantidades de lípidos.

policitemia: Trastono de la sangre caracterizado por un aumento del hematocrito con volumen sanguíneo normal.

transfusión: Procedimiento en el que los componentes sanguíneos son dados a alguien cuyo volumen de sangre ha sido reducido o cuya sangre es deficitaria en algunos componentes.

trasplante de médula ósea: Transfusión de células de la médula ósea, incluyendo células madre, que puede ser usada para repoblar la médula ósea tras exposición a radiación, quimioterapia, o anemia aplásica.

trombo: Coágulo sanguíneo.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 531

1. El aparato cardiovascular proporciona el mecanismo para el transporte rápido de nutrientes, productos de desecho, y células en el interior del organismo.

Funciones de la sangre 531

1. La sangre es un tejido conjuntivo especializado. Sus funciones incluyen; 1) transporte de gases en disolución; 2) transporte y distribución de nutrientes; 3) transporte de residuos del metabolismo; 4) transporte y distribución de enzimas y hormonas; 5) estabilización del pH y de la composición electrolítica del líquido intersticial; 6) restringir la pérdida de líquidos a través de vasos dañados o heridas mediante la formación del coágulo; 7) defender al organismo de toxinas y patógenos, y 8) estabilizar la temperatura corporal absorbiendo y distribuyendo el calor *(v. tabla 20.1)*.

Composición de la sangre 531

La sangre tiene dos componentes: el **plasma,** la matriz líquida de la sangre, y los **elementos formes**, lo que incluye los **glóbulos rojos (GR),** leucocitos o **glóbulos blancos (GB),** y las **plaquetas.** El plasma y los elementos formes constituyen la **sangre entera,** que puede ser **fraccionada** con fines analíticos o clínicos *(v. figura 20.1 y tabla 20.2)*.

2. Existen 4-6 litros de sangre entera de media en un adulto. Los términos *hipovolémico, normovolémico*, e *hipervolémico* se refieren a bajo, normal o excesivo volumen sanguíneo, respectivamente.

Plasma 533

3. El plasma constituye cerca del 55% del volumen de la sangre, aproximadamente 92% del plasma es agua *(v. figura 20.1 y tabla 20.2)*.
4. El plasma se diferencia del líquido intersticial porque tienen una mayor concentración de oxígeno en disolución y mayor número de proteínas disueltas. Existen tras tipos de proteínas plasmáticas: *albúmina, globulinas,* y *fibrinógeno (v. tabla 20.2)*.
5. La **albúmina** constituye cerca del 60% de las proteínas plasmáticas. Las **globulinas** constituyen aproximadamente el 35% de las proteínas plasmáticas: incluyen las **inmunoglobulinas (anticuerpos),** que atacan proteínas extrañas y patógenos, y **globulinas de transporte,** que unen iones, hormonas y otros compuestos. La función de las moléculas de **fibrinógeno** en la cascada de la coagulación es interaccionar para formar *fibrina;* la eliminación del fibrinógeno del plasma deja un líquido denominado **suero** *(v. tabla 20.2)*. Cuando la albúmina o las globulinas están unidas a lípidos, forman lipoproteínas, que son transportadas por el sistema cardiocirculatorio hasta que los lípidos son distribuidos a los tejidos.

Elementos formes 534

Glóbulos rojos (GR) 534

1. Los glóbulos rojos (GR), o eritrocitos, constituyen poco menos de la mitad del volumen sanguíneo. El valor de hematocrito indica el porcentaje de sangre entera ocupada por elementos celulares. Dado que la sangre contiene cerca de 1.000 GR por cada GB, este valor se aproxima bastante al volumen de los GR *(v. figuras 20.2 a 20.4)*.

2. Los GR transportan oxígeno y anhídrido carbónico dentro del torrente circulatorio. Son células altamente especializadas con una proporción superficie-volumen muy elevada. Cada GR es un disco bicóncavo. Esta forma confiere a los GR una gran área de superficie, lo que permite la rápida difusión de gases y la capacidad de formar pilas (llamados ***rouleaux***) que pueden pasar fácilmente a través de los vasos pequeños.
3. Como los GR carecen de mitocondrias, ribosomas y núcleo, son incapaces de realizar las maniobras habituales de mantenimiento, por lo que habitualmente degeneran tras pasar alrededor de 120 días en la circulación. Los GR dañados o muertos son reciclados por los fagocitos *(v. figura 20.2 y tabla 20.3)*.
4. Las moléculas de **hemoglobina (Hb)** suponen más del 95% de las proteínas de los GR. La hemoglobina le confiere a los GR la capacidad de transportar oxígeno y anhídrido carbónico. La hemoglobina es una proteína globular formada por cuatro subunidades. Cada subunidad contiene un solo grupo **hemo,** que alberga un ion de hierro que puede unirse reversiblemente a una molécula de oxígeno *(v. figura 20.3)*. En los pulmones, el anhídrido carbónico difunde fuera de la sangre y el oxígeno difunde hacia la misma. En los tejidos periféricos ocurre de forma opuesta: el oxígeno difunde fuera de la sangre y el anhídrido carbónico entra en la misma.
5. El **grupo sanguíneo** está determinado por la presencia o ausencia de antígenos de superficie específicos (*aglutinógenos*) en el plasmalema de los GR: **A, B** y **D (Rh).** El grupo sanguíneo A tiene el antígeno de superficie A, el grupo sanguíneo B tienen el antígeno de superficie B, el grupo AB tiene ambos, y el grupo 0 ninguno. La sangre Rh positiva tienen el antígeno de superficie Rh, y la Rh- no lo tiene. Los **anticuerpos** específicos contra estos antígenos de superficie se denominan *aglutininas*. Los anticuerpos del plasma de un individuo reaccionarán con los GR que porten antígenos de superficie extraños, causando una reacción cruzada *(v. figura 20.4 y tabla 20.4)*.

Leucocitos 538

6. Los glóbulos blancos (GB) o **leucocitos,** defienden al cuerpo contra patógenos y eliminan toxinas, residuos, y células anómalas o dañadas *(v. figura 20.5)*. Las dos clases de GB son los leucocitos granulares (granulocitos) y los leucocitos agranulares (agranulocitos).
7. El frotis sanguíneo proporciona un recuento diferencial de la población de GB. Las terminaciones *-penia* y *-osis* se utilizan para indicar bajo o alto número, respectivamente, de tipos específicos de GB.
8. Los leucocitos exhiben **quimiotaxis** (la atracción por sustancias químicas específicas) y **diapedesis** (la capacidad para moverse a través de las paredes vasculares).
9. Los **leucocitos granulares (granulocitos)** se subdividen en **neutrófilos, eosinófilos (acidófilos) y basófilos.** Entre el 50% y el 70% de los GB circulantes son neutrófilos, que son fagocitos de gran movilidad. Los mucho menos frecuentes eosinófilos son células fagocíticas, que son atraídas por compuestos extraños que han reaccionado con anticuerpos circulantes. Los relativamente raros basófilos migran hacia los tejidos dañados y liberan histamina, colaborando en la respuesta inflamatoria *(v. figura 20.5 y tabla 20.3)*.
10. Los **leucocitos agranulares** se subdividen en **monocitos** y **linfocitos.** Los monocitos que migran a los tejidos periféricos de convierten en macrófagos libres, que son células fagocíticas muy móviles. Los linfocitos son las células principales del **sistema linfático,** que incluye **células T** (que penetran en los tejidos periféricos y atacan las células extrañas directamente), **células B** (que producen anticuerpos) y **células NK** (que destruyen tejidos anómalos) *(v. figura 20.5 y tabla 20.3)*.

Plaquetas 540

11. Las plaquetas se denominan a veces **trombocitos;** no son células sino paquetes citoplasmáticos envueltos por membrana.
12. Los **megacariocitos** son células enormes de la médula ósea que liberan paquetes de citoplasma (plaquetas) a la sangre circulante. Las funciones de las plaquetas incluyen: 1) el transporte de sustancias importantes para el proceso de coagulación; 2) la formación de un parche temporal en las paredes de los vasos sanguíneos dañados, y 3) la contracción del coágulo una vez que este se ha formado para reducir el tamaño de la rotura de la pared vascular *(v. figuras 20.6/20.7 y tabla 20.3)*.

Hemopoyesis 541

1. La **hemopoyesis** es el proceso de formación de sangre. Las **células madre** llamadas **células pluripotenciales** se dividen para formar todas las células sanguíneas *(v. figura 20.8)*.

Eritropoyesis 543

2. La **eritropoyesis,** la formación de eritrocitos, ocurre fundamentalmente en el **tejido mieloide** (medula ósea roja) en los adultos. La formación de GR aumenta bajo la influencia de la **hormona estimuladora de la eritropoyesis (eritropoyetina, EPO).** Los estadios en el desarrollo de los GR incluyen los **eritroblastos** y los **reticulocitos** *(v. figura 20.8)*.

Leucopoyesis 543

3. La **leucopoyesis,** o formación de los glóbulos blancos, empieza en la médula ósea. Los granulocitos y monocitos derivan de las células madre de la médula ósea. Las células madre responsables de la **linfopoyesis** (producción de linfocitos) también se originan en la médula ósea, pero muchas migran a los tejidos linfáticos periféricos *(v. figura 20.8)*.
4. La médula ósea y el timo se denominan *órganos linfáticos primarios*. Los *órganos linfáticos secundarios*, como el bazo, las amígdalas, y los ganglios linfáticos, contienen glóbulos blancos que se dividen para producir células del mismo tipo.
5. Los factores que regulan la maduración de los linfocitos no se conocen por completo. Varios **factores estimuladores de colonias (CSF)** están implicados en la regulación de otras poblaciones de GB.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. basófilos	a. célula madre fuente de todas las células sanguíneas
___ 2. embolia	b. bajo volumen sanguíneo
___ 3. linfocito	c. glóbulo blanco granular
___ 4. leucopoyesis	d. proteína de la coagulación
___ 5. hemostasia	e. glóbulo blanco agranular
___ 6. eritroblastos	f. proceso de producción de los glóbulos blancos
___ 7. fibrinógeno	g. proceso para prevenir la pérdida de sangre
___ 8. inmunoglobulinas	h. coágulo en un vaso sanguíneo
___ 9. células madre pluripotenciales	i. anticuerpo
___10. hipovolemia	j. glóbulos rojos inmaduros

11. Las funciones de la sangre incluyen:
    (a) transporte de nutrientes y residuos
    (b) regulación del pH y las concentraciones de electrólitos
    (c) restringir la pérdida de líquidos
    (d) todas las anteriores son correctas

12. Los elementos formes más abundantes en la sangre son:
    (a) plaquetas (b) glóbulos blancos
    (c) proteínas (d) glóbulos rojos

13. Las proteínas más abundantes en la sangre son:
    (a) globulinas (b) albúmina
    (c) fibrinógeno (d) lipoproteínas

14. Los grupos principales de glóbulos blancos incluyen:
    (a) eritrocitos y plaquetas
    (b) células granulares y agranulares
    (c) fibrinógeno y fibras de colágeno
    (d) macromoléculas y coloide

15. Las células madre responsables de la producción de glóbulos blancos se originan en:
    (a) el hígado
    (b) el timo
    (c) el bazo
    (d) la médula ósea

16. Cada una de las siguientes frases respecto a los glóbulos rojos (GR) es cierta excepto:
    (a) los GR son discos bicóncavos
    (b) los GR carecen de mitocondrias
    (c) los GR tienen grandes núcleos
    (d) los GR pueden formar pilas denominadas *rouleaux*

17. La principal función de la hemoglobina es:
    (a) almacenar hierro
    (b) transportar glucosa
    (c) dar a los GR su color
    (d) transportar oxígeno a los tejidos periféricos

18. Las personas del grupo sanguíneo A tienen:
    (a) un antígeno de superficie A en sus glóbulos rojos
    (b) antígenos de superficie B en el plasma
    (c) anticuerpos anti-A en su plasma
    (d) anticuerpos anti-O en su plasma

19. Los glóbulos blancos que aumentan en número tras una reacción alérgica o en respuesta a una infección por parásitos son:
    (a) los neutrófilos
    (b) los eosinófilos
    (c) los basófilos
    (d) los monocitos

20. Las plaquetas son:
    (a) células grandes que carecen de núcleo
    (b) pequeñas células que carecen de núcleo
    (c) fragmentos de células
    (d) pequeñas células con un núcleo de forma irregular

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿En qué se diferencia la reacción de una sangre Rh positivo o Rh negativo de la de los grupos A, B y 0?
    (a) no hay diferencias significativas; estos grupos sanguíneos reaccionan todos del mismo modo
    (b) la sangre de un individuo Rh positivo contiene aglutinógenos Rh positivo, y la sangre Rh negativa contiene aglutinógenos Rh negativos
    (c) la sangre de un individuo Rh negativo contiene aglutinógenos anti-Rh sólo si ha sido sensibilizado por exposición previa a eritrocitos Rh positivos
    (d) la respuesta es mayor de forma inversamente proporcional al número de sangres de diferentes tipos Rh administradas al individuo.

2. ¿Cuáles de los siguientes casos pueden interrumpir la hemostasia?
    (a) déficit de iones de calcio
    (b) déficit de iones de potasio
    (c) déficit de hemoglobina
    (d) déficit de sodio

3. ¿Por qué el déficit de mitocondrias hace que el eritrocito sea más eficaz para transportar oxígeno?
    (a) dado que el eritrocito transporta oxígeno de forma pasiva, las mitocondrias serían inútiles, ocupando un valioso espacio dentro de la célula
    (b) las mitocondrias requieren gran cantidad de energía para su función, y por ello un eritrocito sin mitocondrias dispone de más energía para transportar oxígeno
    (c) dado que el eritrocito transporta gases de forma pasiva, no es necesario ATP para procesos de transporte activos, y por ello las mitocondrias no son necesarias
    (d) sin mitocondrias, el eritrocito no usará el oxígeno que se absorbe y puede, por tanto, transportarlo en su totalidad a los tejidos periféricos

4. El déficit de hierro producirá uno de los siguientes:
    (a) disminución del recuento de leucocitos
    (b) disminución del recuento de monocitos
    (c) anemia
    (d) policitemia

5. ¿Cuál es el volumen del concentrado de eritrocitos y por qué es en ocasiones llamado «volumen concentrado celular»?

6. ¿Cuál es la función de la cascada de la coagulación?

7. ¿Cuál es el destino de los megacariocitos?

8. Dé algunos ejemplos de órganos linfáticos secundarios

9. ¿Qué son las lipoproteínas y cuál es su función en la sangre?

10. ¿Puede una persona de grupo 0 sanguíneo recibir sangre del grupo AB? ¿Por qué o por qué no?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿Por qué los atletas se desplazan a altitudes superiores a las que van a competir varios meses antes de dicha competición?

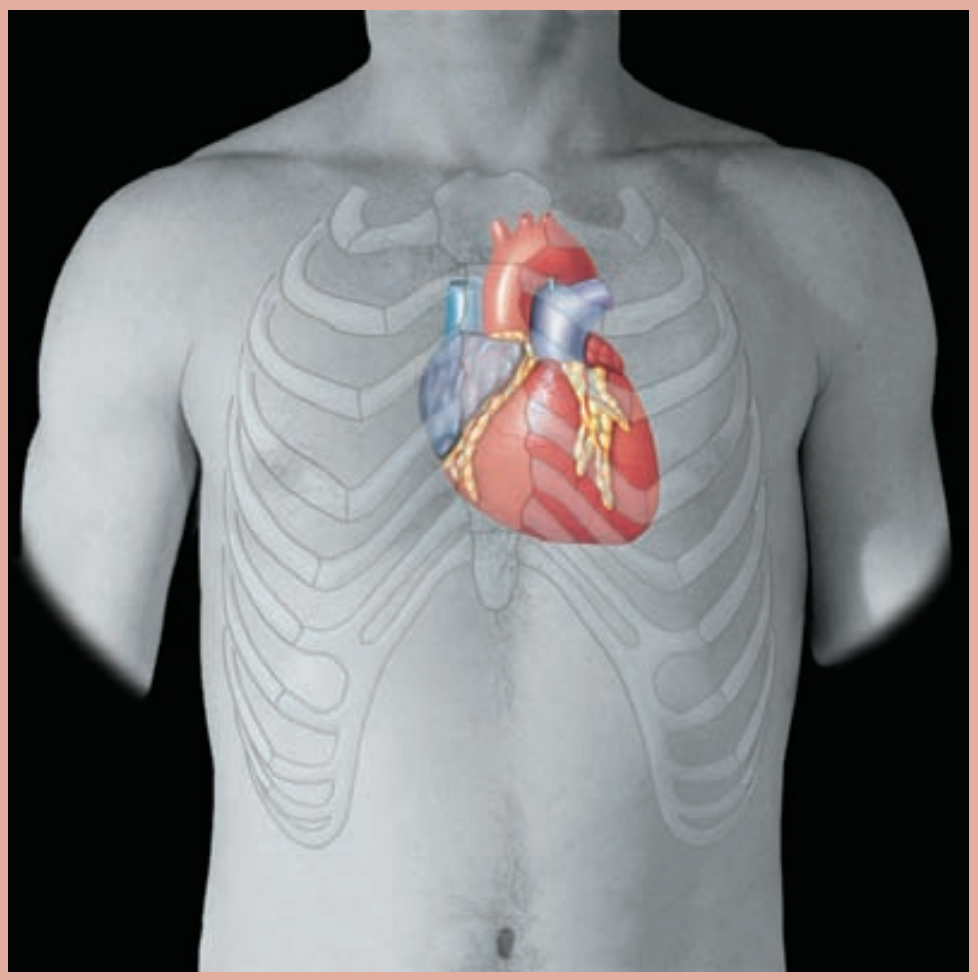
2. La mononucleosis es una enfermedad que puede agrandar el bazo debido a un aumento del número de células fagocíticas y otras células. Los síntomas más comunes son palidez cutánea, cansancio, y una carencia de energía hasta el punto a veces de no ser capaz de levantarse de la cama. ¿Qué puede causar estos síntomas?

3. Casi la mitad de la vitamina K es sintetizada por bacterias que habitan en el intestino grueso. Basado en esta información, ¿por qué el uso de antibióticos de amplio espectro (los antibióticos son agentes químicos que matan selectivamente a los microorganismos) produce frecuentes episodios de hemorragia nasal?

21

Aparato cardiovascular

El corazón



Introducción 548

Visión general del aparato cardiovascular 548

Pericardio 548

Estructura de la pared cardíaca 550

Orientación y anatomía superficial del corazón 552

Anatomía interna y organización del corazón 554

Ciclo cardíaco 561

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir el diseño básico del aparato cardiovascular y el funcionamiento del corazón.
2. Describir la estructura de las subdivisiones del pericardio y exponer sus funciones.
3. Identificar y describir el epicardio, el miocardio y el endocardio del corazón.
4. Identificar las diferencias importantes entre el tejido muscular cardíaco y el tejido muscular esquelético.
5. Explicar la estructura y el funcionamiento del esqueleto fibroso del corazón.
6. Identificar y describir la forma externa y los rasgos superficiales del corazón.
7. Describir las especializaciones estructurales y funcionales de cada cámara cardíaca.
8. Identificar las arterias y venas principales de los circuitos pulmonar y sistémico conectados al corazón.
9. Establecer la ruta del flujo sanguíneo a través del corazón.
10. Describir la estructura y el funcionamiento de cada válvula cardíaca.
11. Localizar los vasos sanguíneos coronarios e identificar sus orígenes y las ramas principales.
12. Nombrar y localizar los componentes de la vía de conducción del corazón.
13. Describir el funcionamiento de la vía de conducción del corazón.
14. Exponer los sucesos que tienen lugar durante el ciclo cardíaco.
15. Describir los centros cardíacos y exponer sus funciones a la hora de regular el corazón.

Cada célula viva depende del líquido intersticial que la rodea como fuente de oxígeno y de nutrientes y como lugar para la eliminación de desechos. Los niveles de gases, nutrientes y productos de desecho se mantienen estables en el líquido intersticial mediante un intercambio continuo entre este y la sangre circulante. La sangre debe permanecer en circulación para mantener la homeostasis. Si la sangre deja de circular a través de un tejido, su oxígeno y aporte de nutrientes se gastan rápidamente, su capacidad para absorber desechos se alcanza rápidamente, y ni las hormonas ni los leucocitos pueden alcanzar sus objetivos pretendidos. Por tanto, todas las funciones del aparato cardiovascular dependen en última instancia del corazón, porque es este quien mantiene la sangre en circulación. Este órgano muscular late aproximadamente 100.000 veces cada día, impulsando la sangre a través de los vasos sanguíneos. Cada año el corazón bombea más de 5,7 millones de litros de sangre, cantidad suficiente para llenar 200 vagones cisterna de tren.

Para una demostración práctica de las capacidades de bombeo del corazón, abra el grifo de la cocina por completo. Para depositar una cantidad de agua equivalente al volumen de sangre bombeado por el corazón durante un período temporal promedio, ese grifo debería permanecer abierto durante al menos 45 años. De forma igualmente notable, el volumen de sangre bombeado por el corazón puede variar ampliamente, entre 5 y 30 litros por minuto. La actividad del corazón está estrechamente controlada y finamente regulada por el sistema nervioso con el fin de garantizar que los niveles de gases, nutrientes y productos de desecho en los tejidos periféricos se mantienen dentro de los límites normales, ya se encuentre una persona durmiendo plácidamente, leyendo un libro o inmersa en un intenso partido de tenis.

Comenzamos este capítulo analizando los rasgos estructurales que permiten al corazón actuar de una forma tan fiable, incluso frente a demandas físicas ampliamente variables. Expondremos después los mecanismos que regulan la actividad cardíaca para cubrir las necesidades siempre cambiantes del cuerpo.

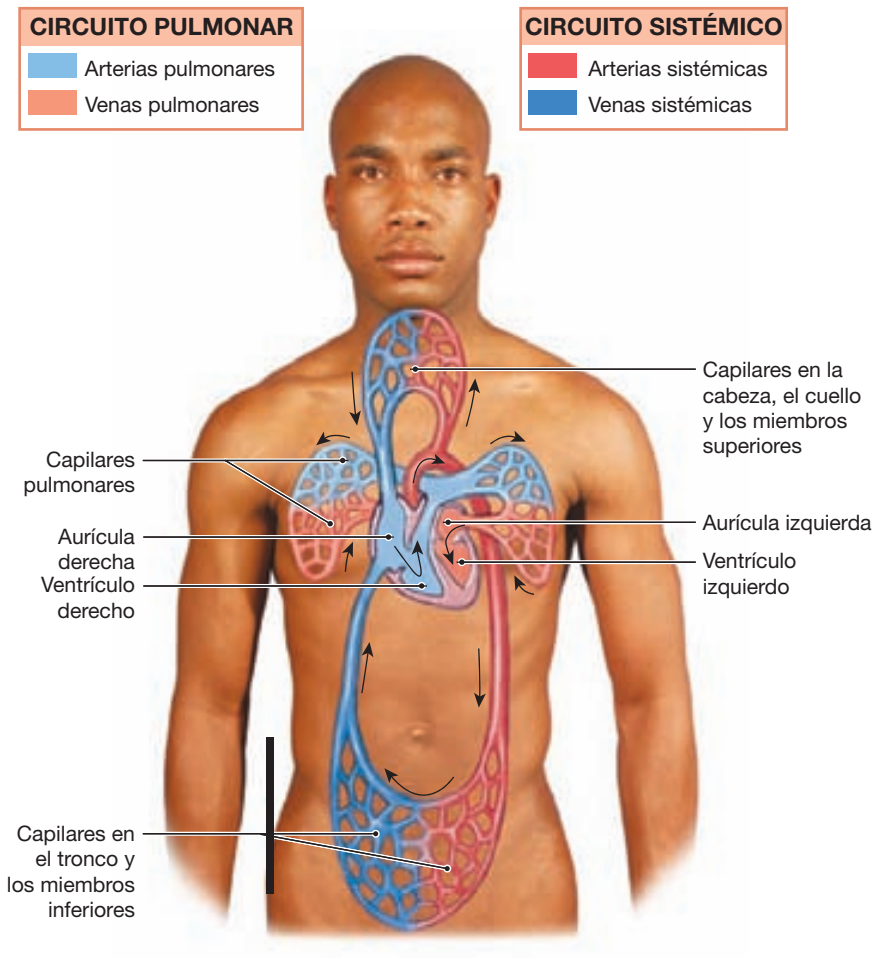


Figura 21.1 Visión global de los circuitos pulmonar y sistémico
La sangre fluye a través de los circuitos pulmonar y sistémico separados, impulsada por el bombeo cardíaco. Cada circuito comienza y finaliza en el corazón y contiene arterias, capilares y venas. Las flechas indican la dirección del flujo sanguíneo dentro de cada circuito.

Visión general del aparato cardiovascular [v. figura 21.1]

A pesar de su impresionante carga de trabajo, el corazón es un órgano pequeño que mide aproximadamente lo mismo que un puño cerrado. Las cuatro cámaras musculares del corazón, las **aurículas** (sngular, *atrium*, «cámara») derecha e izquierda y los **ventrículos** («vientres pequeños») derecho e izquierdo, trabajan conjuntamente para bombear la sangre a través de una red de vasos sanguíneos situados entre el corazón y los tejidos periféricos. Esta red puede subdividirse en dos circuitos: **el circuito pulmonar,** que transporta sangre rica en dióxido de carbono desde el corazón a las superficies de intercambio gaseoso de los pulmones y devuelve sangre rica en oxígeno al corazón; y el **circuito sistémico,** que transporta sangre rica en oxígeno desde el corazón al resto de células corporales, devolviendo sangre rica en dióxido de carbono al corazón. La aurícula derecha recibe la sangre del circuito sistémico, y el ventrículo derecho la impulsa hacia el circuito pulmonar. La aurícula izquierda recoge la sangre del circuito pulmonar, mientras que el ventrículo izquierdo expulsa la sangre hacia el circuito sistémico. Cuando el corazón late, se contraen en primer lugar las aurículas, seguidas por los ventrículos. Los dos ventrículos se contraen al mismo tiempo e impulsan volúmenes iguales de sangre a los circuitos pulmonar y sistémico.

Cada circuito comienza y finaliza en el corazón. Las **arterias** alejan la sangre del corazón; las **venas** retornan la sangre al corazón (v. figura 21.1). La sangre viaja a través de estos circuitos de forma secuencial. Por ejemplo, la sangre que vuelve al corazón a través de venas sistémicas debe completar el circuito pulmonar antes de volver a entrar a las arterias sistémicas. Los **capilares** son vasos pequeños de pared fina que interconectan las arterias y venas pequeñas. Se llama a los capilares **vasos de intercambio** porque sus finas paredes permiten el intercambio de nutrientes, los gases en disolución y los productos de desecho entre la sangre y los tejidos circundantes

Pericardio [v. figura 21.2]

El corazón se localiza cerca de la pared torácica anterior (v. figura 21.2a), inmediatamente posterior al esternón, dentro de la **cavidad pericárdica,** una zona de la parte anterior del cuerpo. La cavidad pericárdica se encuentra situada entre las cavidades pleurales, en el mediastino, el cual contiene también el timo, el esófago y la tráquea [p. 19]. En la figura 21.2c,d se muestra la posición del corazón en relación con las restantes estructuras del mediastino.

El **pericardio** es una membrana serosa que tapiza la cavidad pericárdica. Para visualizar la relación entre el corazón y la cavidad pericárdica, imagínese presionando con el puño sobre un gran globo (v. figura 21.2b). La pared del globo se corresponde con el pericardio y el puño con el corazón. El pericardio se divide en **pericardio visceral** (la parte del globo en contacto con el puño) y **pericardio parietal** (el resto del globo). La muñeca, donde el globo se pliega sobre sí mismo, se correspondería con la *base* del corazón (así llamada porque es donde el corazón se fija a los grandes vasos y se une al mediastino).

El tejido conjuntivo laxo del pericardio visceral, o *epicardio,* es el límite del tejido muscular cardíaco del corazón. La membrana serosa del pericardio parietal está reforzada por una capa externa de tejido conjuntivo denso irregular que contiene abundantes fibras de colágeno. Se conoce a esta capa de refuerzo como **pericardio fibroso.** Conjuntamente el pericardio parietal y el pericardio fibroso forman el grueso **saco pericárdico.** En la base del corazón, las fibras de colágeno del pericardio fibroso estabilizan las posiciones del

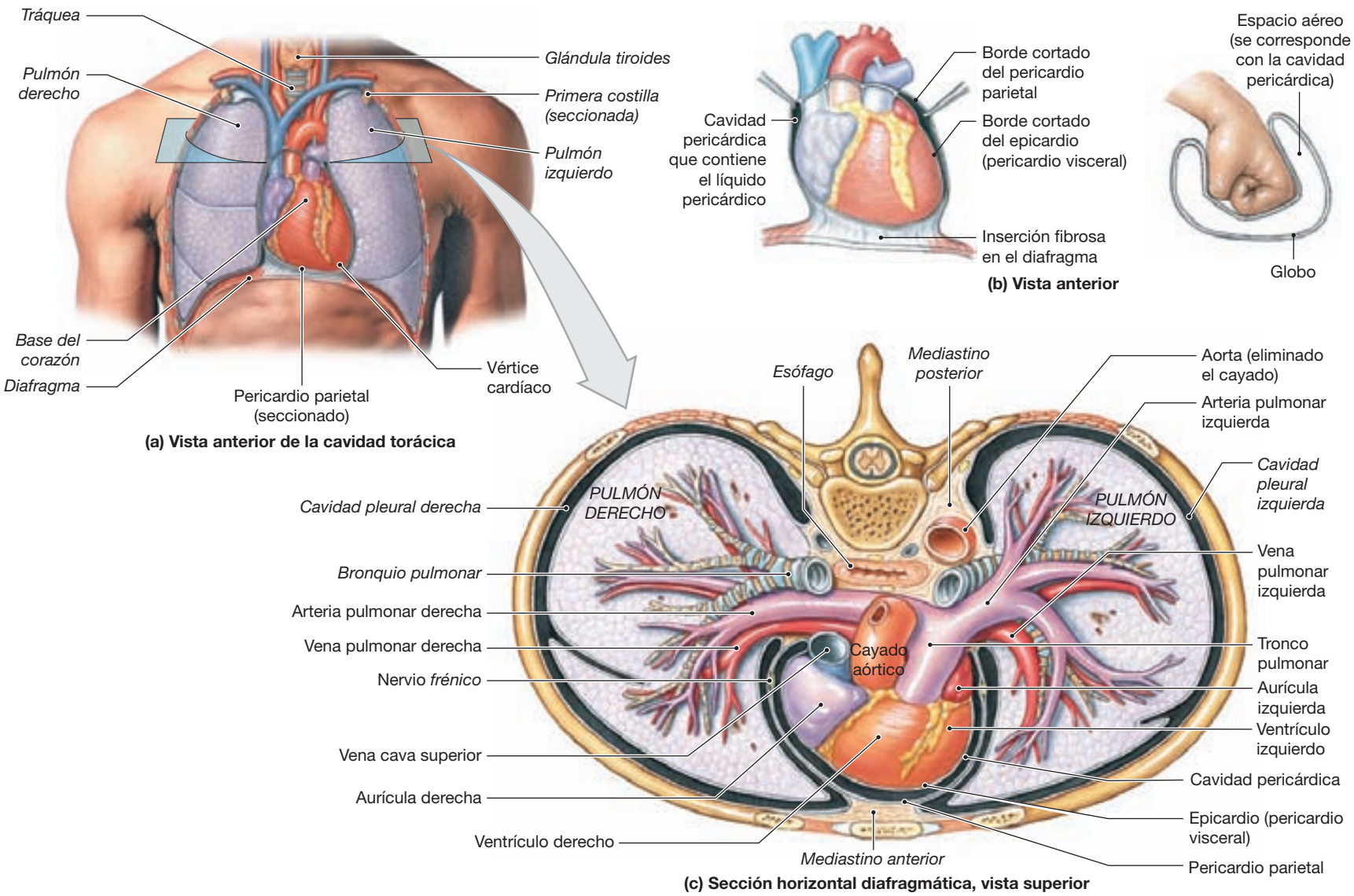


Figura 21.2 Localización del corazón dentro de la cavidad torácica

El corazón está situado dentro de la zona media del mediastino, inmediatamente posterior al esternón. **(a)** Vista anterior de la cavidad torácica abierta, mostrando la posición del corazón y de los vasos principales respecto a los pulmones. El plano seccional indica la orientación en la parte (c). **(b)** Relaciones entre el corazón y la cavidad pericárdica. La cavidad pericárdica rodea al corazón de manera similar a como el globo rodea al puño (derecha). **(c)** Vista diafragmática que muestra la posición del corazón y la localización de otros órganos en el mediastino. En este corte seccional se muestra el corazón intacto, de forma que se puede apreciar la orientación de los vasos principales. **(d)** Vista superior de un corte horizontal del tronco a nivel de la vértebra T_8.

pericardio, el corazón y los vasos asociados en el mediastino. El pequeño intervalo entre las superficies parietal y visceral enfrentadas es la cavidad pericárdica. Esta cavidad contiene normalmente 10-20 mL de **líquido pericárdico** secretado por las membranas pericárdicas. El líquido pericárdico actúa como lubricante, disminuyendo la fricción entre las superficies enfrentadas. El revestimiento pericárdico húmedo evita el rozamiento a medida que el corazón late, mientras que las fibras de colágeno que fijan la base del corazón en el mediastino limitan el movimiento de los grandes vasos durante la contracción.

Estructura de la pared cardíaca

[v. figura 21.3]

Una sección a través de la pared cardíaca (v. figura 21.3a,b) revela tres capas diferentes: 1) el *epicardio* externo (pericardio visceral); 2) el *miocardio* intermedio, y 3) el *endocardio* interno.

1. El **epicardio** es el pericardio visceral; forma la superficie externa del corazón. El epicardio es una membrana serosa que está constituida por un mesotelio que cubre una capa de apoyo de tejido conjuntivo areolar.
2. El **miocardio** está constituido por múltiples capas entrelazadas de tejido muscular cardíaco, con tejido conjuntivo, vasos sanguíneos y nervios asociados. El relativamente fino miocardio auricular contiene capas con forma de ocho a medida que pasan de una aurícula a otra. El miocardio ventricular es mucho más espeso y la orientación del músculo cambia entre capa y capa. Las fibras musculares ventriculares superficiales envuelven ambos ventrículos; las capas musculares más profundas se disponen en espiral alrededor y entre los ventrículos desde la *base* fija hacia el borde libre o *vértice* del corazón (v. figura 21.3a-c).
3. Las superficies internas del corazón, incluyendo las válvulas, están tapizadas por un epitelio escamoso simple, conocido como **endocardio** (*endo-*, dentro). El endocardio se continúa con el endotelio de los vasos sanguíneos adyacentes.

Tejido muscular cardíaco [v. figura 21.3b-e]

Las características histológicas poco habituales del tejido muscular cardíaco confieren al miocardio sus propiedades funcionales particulares. Se expuso el tejido muscular cardíaco en el capítulo 3, y se compararon brevemente sus propiedades con las de otros tipos musculares [p. 75]. Las células musculares cardíacas o *cardiocitos,* son relativamente pequeñas, con un diámetro promedio de 10-20 μm y una longitud de 50-100 μm. Un cardiocito típico tiene un único núcleo de localización central (v. figura 21.3b-d).

Aunque son mucho más pequeñas que las fibras musculares estriadas, las células musculares cardíacas se asemejan a las fibras musculares estriadas en que cada una contiene miofibrillas organizadas, y en que la alineación de sus sarcómeras produce estriaciones. Sin embargo, las células musculares cardíacas difieren de las fibras musculares estriadas en varios aspectos importantes:

1. Las células musculares cardíacas son dependientes casi en su totalidad de la respiración aerobia para obtener la energía necesaria para continuar contrayéndose. El sarcoplasma de las células musculares cardíacas contiene, por tanto, cientos de mitocondrias y reservas abundantes de mioglobina (para almacenar oxígeno). Las reservas energéticas se mantienen en forma de glucógeno e inclusiones lipídicas.
2. Los relativamente cortos túbulos T de las células musculares cardíacas no forman tríadas dentro del retículo sarcoplásmico.
3. El aporte circulatorio al tejido muscular cardíaco es incluso más extenso que el del tejido muscular esquelético rojo [p. 250].
4. Las células musculares cardíacas se contraen sin instrucciones del sistema nervioso; la contracción de estas células se expondrá más adelante en este capítulo.
5. Las células musculares cardíacas están interconectadas mediante uniones celulares especializadas denominadas *discos intercalares* (v. figura 21.3c-e)

Discos intercalares [v. figura 21.3b-e]

Las células musculares cardíacas están conectadas con las células vecinas en uniones celulares especializadas conocidas como **discos intercalares** son exclusivos del tejido muscular cardíaco (v. figura 21.3b-e). La apariencia rasgada se debe al extenso entrelazamiento entre las membranas sarcolémicas adyacentes. En un disco intercalar:

1. Los sarcolemas de dos células musculares cardíacas están unidos por desmosomas *(maculae adherens)* [p. 45]. Esto ancla las células entre sí y ayuda a mantener la estructura tridimensional del tejido.
2. Las miofibrillas de estas células musculares están firmemente ancladas al sarcolema en el disco intercalar. El disco intercalar ata, por tanto, las miofibrillas de células adyacentes. Como resultado, las dos células musculares «tiran unidas» con máxima eficiencia.
3. Las células musculares cardíacas también están conectadas mediante uniones en hendidura [pp. 44, 75]. Iones y pequeñas moléculas pueden desplazarse entre las células en las uniones en hendidura, creando, por tanto, una conexión eléctrica directa entre las dos células musculares. Como resultado, el estímulo para la contracción o potencial de acción puede transmitirse de una célula muscular cardíaca a otra como si el sarcolema fuera continuo.

Como las células musculares cardíacas se encuentran conectadas mecánica, química y eléctricamente entre sí, el tejido muscular cardíaco funciona como si fuera una célula muscular única gigante. La contracción de cualquiera de las células desencadenará la contracción de varias otras, y esta contracción se extenderá progresivamente a lo largo del miocardio. Por esta razón se ha considerado el músculo cardíaco como un *sincitio funcional* («masa fusionada de células»).

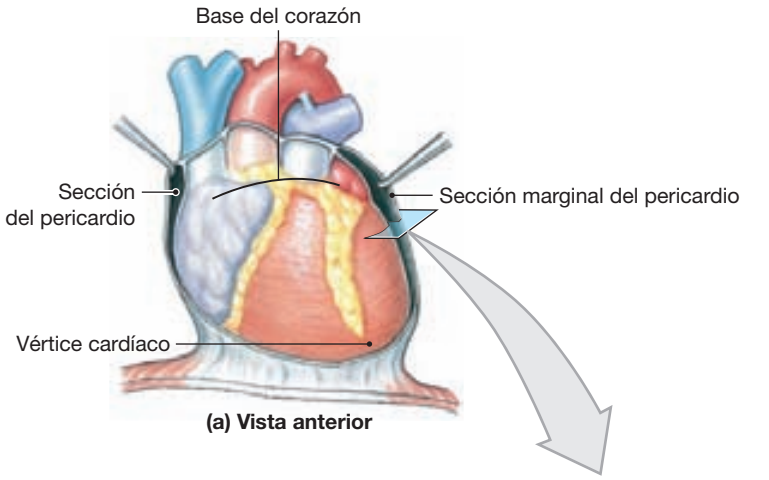
Esqueleto fibroso [v. figuras 21.3b/21.7]

Los tejidos conjuntivos del corazón incluyen importantes cantidades de fibras de colágeno y elásticas (v. figura 21.3b).

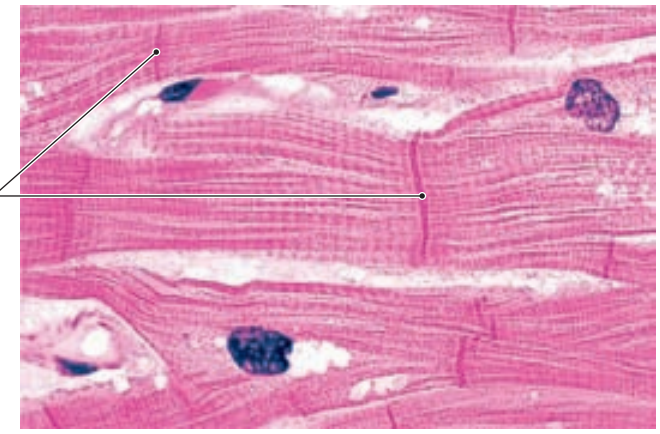
Cada célula muscular cardíaca está envuelta en una vaina firme pero elástica, y células adyacentes están unidas entre sí mediante enlaces cruzados fibrosos o «montantes». A su vez, cada capa muscular tiene una envoltura fibrosa; estas capas musculares superficiales y profundas son separadas por láminas fibrosas. Estas capas de tejido conjuntivo se continúan con las bandas densas de tejido fibroelástico que rodean: 1) las raíces del tronco de la pulmonar y la aorta, y 2) las válvulas del corazón. Esta extensa red de tejido conjuntivo es conocida como el **esqueleto fibroso** del corazón (v. figura 21.7).

El esqueleto fibroso tiene las siguientes funciones:

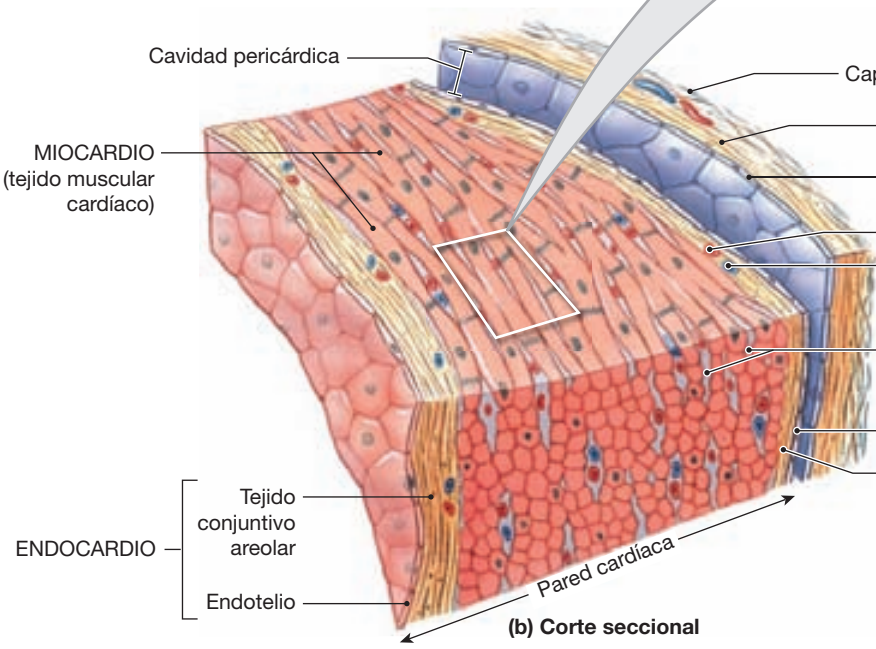
1. Estabilizar las posiciones de las células musculares y de las válvulas en el corazón.
2. Proporcionar un soporte físico para las células musculares cardíacas y para los vasos sanguíneos y los nervios en el miocardio.
3. Distribuir las fuerzas de contracción.
4. Reforzar las válvulas y ayudar a evitar la sobreexpansión del corazón.
5. Aportar la elasticidad que ayude a devolver al corazón a su forma original tras cada contracción.
6. Aislar físicamente las células musculares auriculares de las células musculares ventriculares; como se verá en una sección posterior, este aislamiento tiene una importancia vital para la coordinación de las contracciones cardíacas.



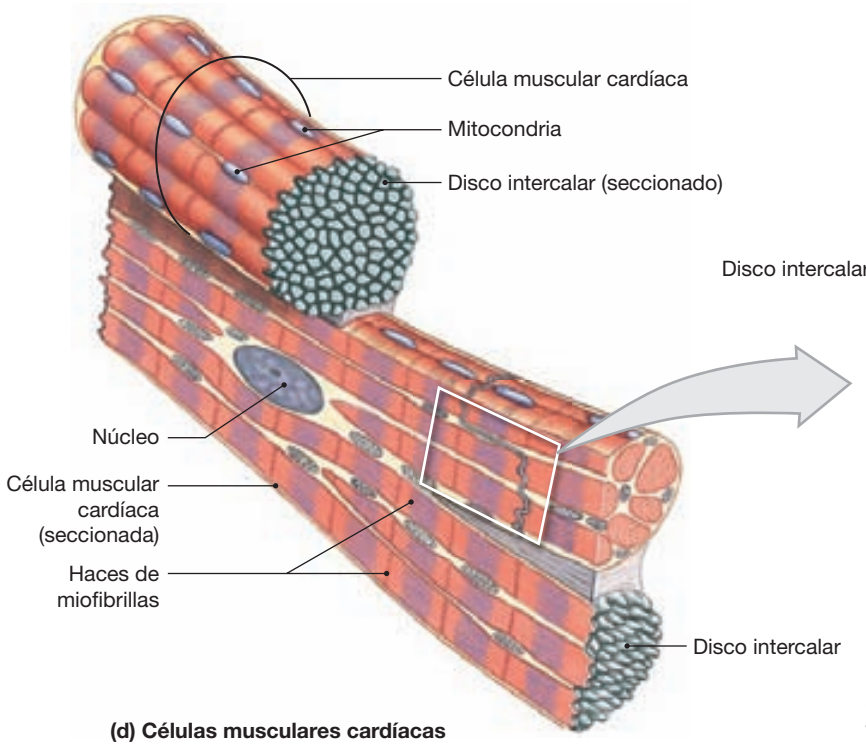
(a) Vista anterior



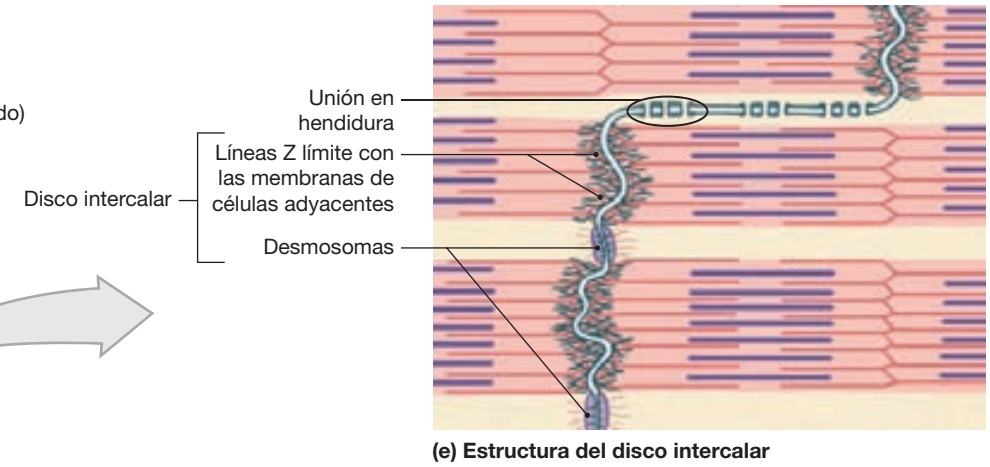
(c) Tejido muscular cardíaco (MO × 575)



(b) Corte seccional



(d) Células musculares cardíacas



(e) Estructura del disco intercalar

Figura 21.3 Organización histológica del tejido muscular en la pared cardíaca
(a) Vista anterior del corazón indicando varias referencias anatómicas importantes. **(b)** Diagrama de un corte de la pared cardíaca que muestra la estructura del epicardio, el miocardio y el endocardio. **(c)** y **(d)** Vistas histológica y en diagrama del tejido muscular cardíaco. Entre las características distintivas de las células del músculo cardíaco se incluyen: 1) un pequeño tamaño; 2) un núcleo único de localización central; 3) interconexiones ramificadas entre las células, y 4) la presencia de discos intercalares. **(e)** Estructura del disco intercalar.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo podría diferenciarse una muestra de tejido muscular cardíaco de una muestra de tejido muscular esquelético?
2. ¿Qué es la cavidad pericárdica?
3. ¿Cómo están conectadas las células musculares cardíacas entre sí?
4. ¿Por qué se conoce al músculo cardíaco como un sincitio funcional?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Orientación y anatomía superficial del corazón

[v. figuras 21.2b/21.4/21.5]

Aunque los dibujos y esquemas muestran a menudo el corazón en el centro del tórax, un corte medio sagital no atravesaría el corazón por la mitad. Ello se debe a que: 1) el corazón se encuentra ligeramente a la izquierda de la línea media; 2) forma un ángulo con el eje longitudinal del cuerpo, y 3) está rotado hacia el lado izquierdo.

1. *El corazón se encuentra ligeramente a la izquierda de la línea media*: el corazón se localiza en el mediastino, entre los dos pulmones. Como está situado ligeramente a la izquierda de la línea media, la muesca en la superficie medial del pulmón izquierdo es considerablemente más profunda que la muesca correspondiente en la superficie medial del pulmón derecho. La **base** es la parte superior más ancha del corazón, donde este se une a las principales arterias y venas de los circuitos sistémico y pulmonar. La base del corazón incluye tanto los orígenes de los vasos principales como las superficies superiores de las dos aurículas. En términos de nuestra analogía con el globo, la base se correspondería con la muñeca (v. **figura 21.2b**). La base se sitúa posterior al esternón a nivel del tercer cartílago costal, con el centro a unos 1,2 cm hacia el lado izquierdo (**v. figura 21.4**). El **vértice** es la punta inferior redondeada del corazón, el cual apunta lateralmente con un ángulo oblicuo. Un corazón adulto típico mide aproximadamente 12,5 cm desde su base fija hasta el vértice. El vértice alcanza el quinto espacio intercostal aproximadamente 7,5 cm a la izquierda de la línea media.
2. *El corazón forma un ángulo oblicuo con el eje longitudinal del cuerpo*: la base forma el **borde superior** del corazón. El **borde derecho** del corazón está formado por la aurícula derecha; el **borde izquierdo** está formado por el ventrículo izquierdo y por una pequeña parte de la aurícula izquierda. El borde izquierdo se extiende hasta el vértice, donde confluye con el **borde inferior.** El borde inferior está formado principalmente por la pared inferior del ventrículo derecho.
3. *El corazón está ligeramente rotado hacia la izquierda*: Como resultado de esta rotación, su superficie anterior, o **superficie esternocostal** la forman principalmente la aurícula derecha y el ventrículo derecho (**v. figura 21.5a**). Las paredes posterior e inferior del ventrículo izquierdo forman gran parte de la superficie inclinada posterior, o **cara diafragmática,** la cual se extiende entre la base y el vértice del corazón (**v. figura 21.5b**).

Las cuatro cámaras internas del corazón se asocian con surcos visibles en la superficie externa (**v. figura 21.5**). Un **surco interauricular** poco marcado separa las dos aurículas, mientras que un **surco coronario** más profundo marca el límite entre las aurículas y los ventrículos. La división entre los ventrículos izquierdo y derecho viene señalada por depresiones lineales en las superficies anterior **(surco interventricular anterior)** y posterior **(surco interventricular posterior).** El tejido conjuntivo del epicardio contiene habitualmente en los surcos coronario e interventriculares cantidades importantes de tejido adiposo que debe retirarse para exponer los surcos subyacentes. Estos surcos también contienen las arterias y venas que llevan sangre al músculo cardíaco del corazón.

Las aurículas y los ventrículos realizan funciones muy diferentes: las aurículas reciben sangre de las venas que debe proseguir hacia los ventrículos, mientras que los ventrículos deben impulsar la sangre hacia los circuitos sistémico y pulmonar. Estas diferencias funcionales están, por supuesto, asociadas a diferencias estructurales externas e internas. Examine la **figura 21.5**, en la cual se

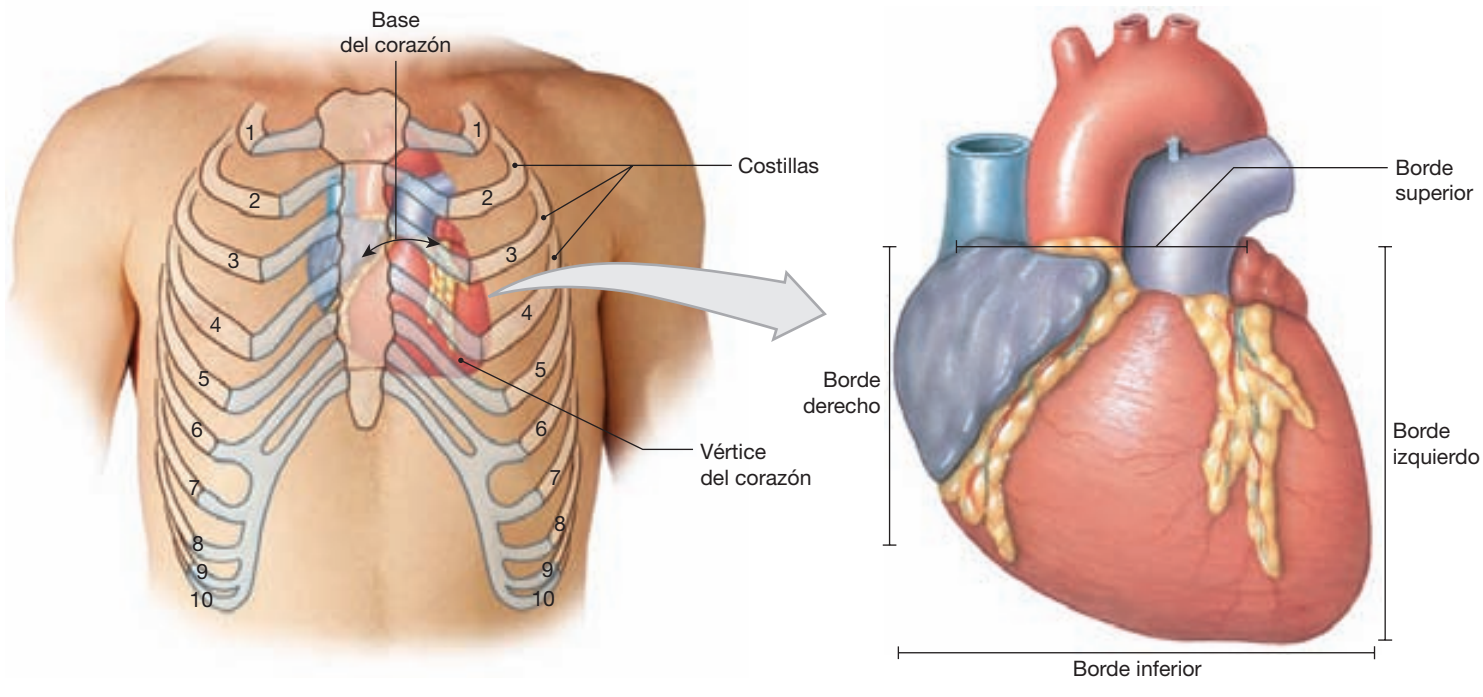
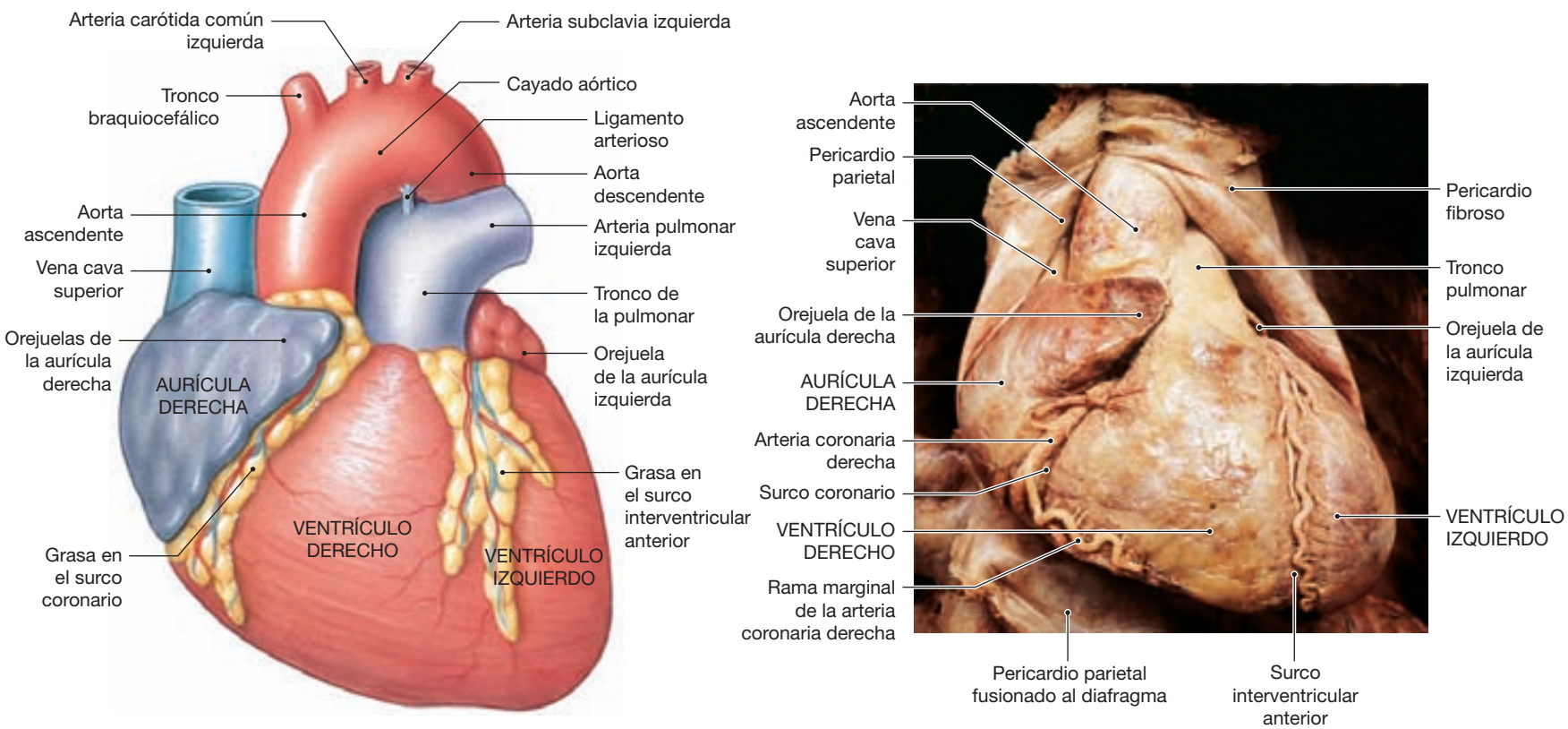
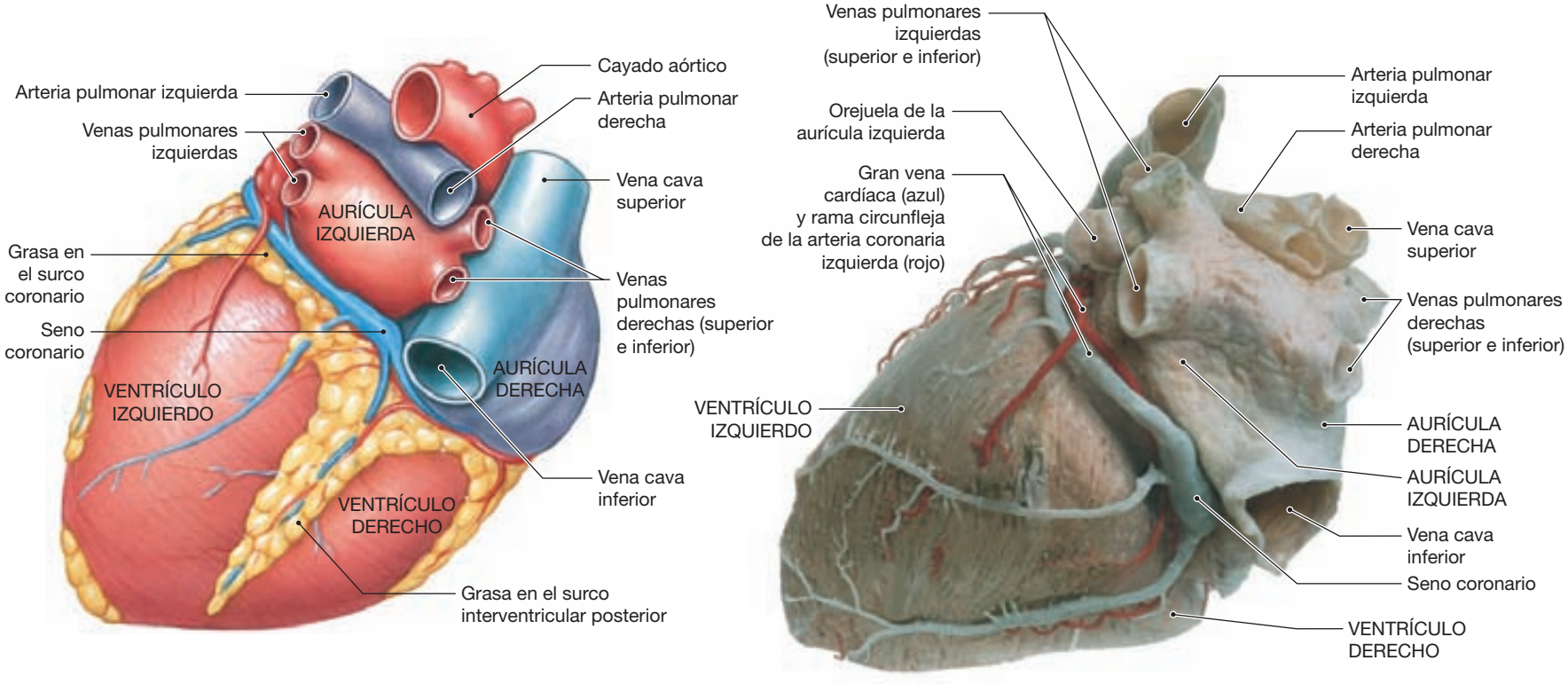


Figura 21.4 Posición y orientación del corazón
La localización del corazón dentro de la cavidad torácica y bordes cardíacos.



(a) Superficie anterior (esternocostal)



(b) Superficie posterior (diafragmática)

Figura 21.5 Anatomía superficial del corazón
(a) Vista anterior del corazón y los grandes vasos. En la fotografía se ha cortado y retirado el saco pericárdico con el fin de exponer el corazón y los grandes vasos. **(b)** Vista posterior del corazón y los grandes vasos; se ha inyectado látex coloreado en los vasos coronarios *(v. figura 21.8)*.

Nota clínica

Infección e inflamación del corazón Muchos microorganismos diferentes pueden infectar el tejido cardíaco, dando lugar a graves alteraciones cardíacas. **Carditis** es un término general que indica la inflamación del corazón. Se suelen identificar las situaciones clínicas que producen una infección cardíaca por el punto primario de la infección. Por ejemplo, las infecciones que afectan al endocardio producen síntomas de *endocarditis*, una entidad que lesiona principalmente las cuerdas tendinosas y las válvulas cardíacas; su tasa de mortalidad puede alcanzar el 21%-35%. Las complicaciones más graves de la endocarditis se deben a la formación de coágulos sanguíneos en las superficies lesionadas. Estos coágulos se liberan subsecuentemente y entran en la corriente sanguínea como émbolos libres que pueden ocasionar accidentes cerebrovasculares, ataques cardíacos o insuficiencia renal. La destrucción de las válvulas cardíacas por la infección puede ocasionar insuficiencia valvular y cardíaca y el fallecimiento.

La *miocarditis*, la inflamación del músculo cardíaco, puede estar producida por patógenos bacterias, virus, protozoos u hongos que bien atacan directamente al miocardio o producen toxinas que lo lesionan. El sarcolema de las células musculares cardíacas infectadas se vuelve más permeable y el ritmo cardíaco puede elevarse espectacularmente. Con el tiempo pueden aparecer contracciones anormales y debilitarse el músculo cardíaco; estos problemas al final pueden resultar mortales.

Si se inflama o infecta el pericardio, puede acumularse líquido alrededor del corazón **(taponamiento cardíaco)** o puede reducirse la elasticidad del pericardio *(pericarditis constrictiva).* En ambas condiciones, la expansión del corazón se ve restringida y se reduce el gasto cardíaco. El tratamiento incluye el drenaje del exceso de líquido o la práctica de una ventana en el saco pericárdico.

detalla la anatomía superficial del corazón y observe las características distintivas de las aurículas y los ventrículos.

La aurícula derecha está situada anterior, inferior y a la derecha de la aurícula izquierda. La aurícula izquierda se extiende posterior a la aurícula derecha; forma la mayor parte de la superficie posterior del corazón, por encima del surco coronario. Ambas aurículas presentan paredes musculares relativamente finas y, como resultado, tienen gran distensibilidad. Cuando no están llenas de sangre, la parte externa de cada aurícula se desinfla y se convierte en un colgajo bastante irregular y rugoso. Esta extensión expansible de cada aurícula es denominada **orejuela** (*auris*, oreja) porque a los anatomistas antiguos les recordaba al pabellón auricular. A la orejuela también se la conoce como *apéndice auricular*.

Los ventrículos están situados por debajo del surco coronario (**v. figura 21.5**). El ventrículo derecho constituye un gran porcentaje de la superficie esternocostal del corazón. El ventrículo izquierdo se extiende desde el surco coronario hasta el vértice o ápex del corazón, formando las superficies izquierda y diafragmática del corazón.

Anatomía interna y organización del corazón [v. figura 21.6]

En la **figura 21.6** se detalla la anatomía interna y la organización funcional de las aurículas y los ventrículos. Las aurículas están separadas por el *tabique interauricular*, mientras que el tabique interventricular separa ambos ventrículos (**v. figura 21.6a,c**). Cada aurícula se comunica con el ventrículo de su mismo lado. Las **válvulas** son repliegues del endocardio que se extienden hacia los orificios entre las aurículas y los ventrículos. Estas válvulas se abren y cierran para evitar el reflujo, manteniendo por tanto un flujo unidireccional de la sangre desde las aurículas a los ventrículos (la estructura y funcionamiento valvulares se describirán en un epígrafe diferente).

La aurícula funciona recogiendo la sangre que retorna al corazón y trasladándola al ventrículo adyacente. Las demandas funcionales depositadas en las aurículas derecha e izquierda son muy similares, y ambas cámaras parecen casi idénticas. Las demandas solicitadas a los ventrículos derecho e izquierdo son muy diferentes y existen diferencias estructurales significativas entre ambos.

Aurícula derecha [v. figura 21.5/21.6a,c]

La aurícula derecha recibe sangre venosa pobre en oxígeno de la circulación sistémica a través de la **vena cava superior** y de la **vena cava inferior** (**v. figuras 21.5** y **21.6a,c**). La vena cava superior, que desemboca en la parte posterior y superior de la aurícula derecha, retorna sangre venosa de la cabeza, el cuello, los miembros superiores y el tórax. La vena cava inferior, que desemboca en la zona posterior e inferior de la aurícula derecha, retorna sangre venosa de los tejidos y órganos de las cavidades abdominal y pélvica y de los miembros inferiores. Las venas del propio corazón, denominadas *venas coronarias*, recogen la sangre de la pared cardíaca y la depositan en el *seno coronario* (**v. figura 21.5b**). Este vaso colector desemboca en la pared posterior de la aurícula derecha, por debajo de la desembocadura de la vena cava inferior (los vasos sanguíneos coronarios serán expuestos en un epígrafe diferente.)

Unas crestas musculares prominentes, los **músculos pectíneos** (*pectina*, peine), se extienden a lo largo de la superficie interna de la aurícula derecha y a través de la pared auricular anterior adyacente. El **tabique interauricular** separa las aurículas derecha e izquierda. Desde la quinta semana de desarrollo embrionario hasta el nacimiento, existe una apertura ovalada, el **foramen o agujero oval,** en este tabique (v. «Resúmenes de Embriología» en el capítulo 28.) El foramen oval permite que el flujo sanguíneo se dirija directamente desde la aurícula derecha a la aurícula izquierda mientras se están desarrollando los pulmones y no son funcionantes. Tras el nacimiento los pulmones comienzan a funcionar y el foramen oval se cierra; pasadas 48 horas, queda cerrado de forma permanente. Una pequeña depresión, la **fosa oval,** marca su localización en el corazón adulto. En ocasiones no se cierra el foramen oval y permanece *permeable* (abierto). Como consecuencia, la sangre recircula hacia el circuito pulmonar, lo que reduce la eficiencia de la circulación sistémica y eleva la presión sanguínea en los vasos pulmonares. Esto puede ocasionar cardiomegalia, derrame pulmonar y al final insuficiencia cardíaca.

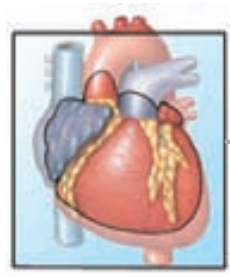
Ventrículo derecho [v. figuras 21.5/21.6]

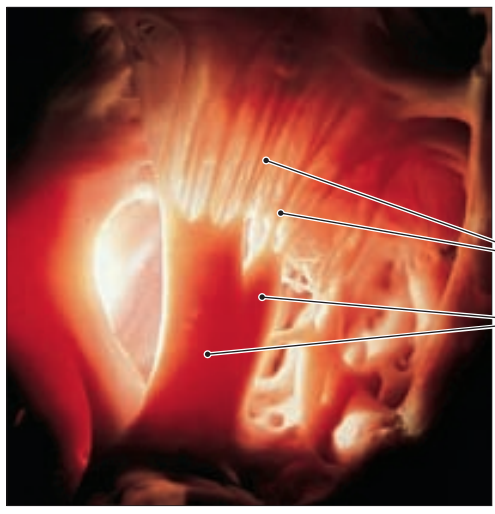
La sangre venosa pobre en oxígeno se desplaza desde la aurícula derecha al ventrículo derecho a través de una amplia apertura limitada por tres colgajos fibrosos. Estos colgajos o **cúspides,** forman la **válvula auriculoventricular (AV) derecha,** o *válvula tricúspide* (**v. figura 21.6**). Los bordes libres de las cúspides están unidos a haces de fibras colágenas, las *cuerdas tendinosas*. Estos haces se origen en los **músculos papilares,** proyecciones musculares cónicas situadas en la superficie ventricular interna. Las cuerdas tendinosas limitan el movimiento de las cúspides y evitan el retorno de la sangre desde el ventrículo derecho a la aurícula derecha; el mecanismo se detallará en una sección posterior.

La superficie interna del ventrículo contiene una serie de pliegues musculares irregulares, las **trabéculas carnosas.** La **banda moderadora** es una banda de músculo ventricular que se extiende desde el **tabique interventricular,** una división muscular gruesa que separa los ventrículos, hasta la pared anterior del ventrículo derecho y las bases de los músculos papilares.

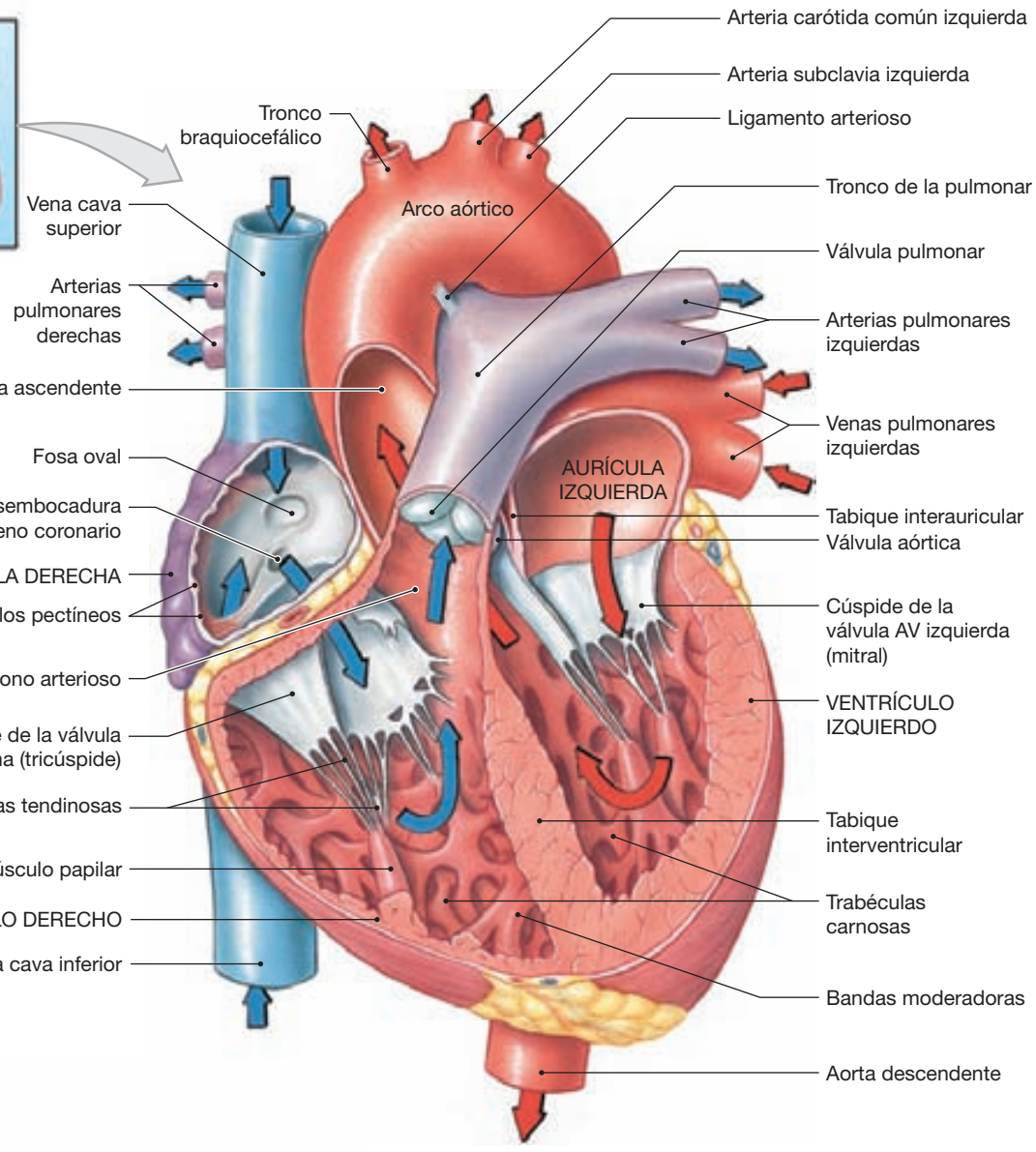
El límite superior del ventrículo derecho se afila hacia un saco cónico de pared lisa, el **cono arterioso,** el cual finaliza en la **válvula pulmonar** *(válvula semilunar pulmonar)*. Esta válvula consta de tres cúspides semilunares gruesas. A medida que la sangre es expulsada del ventrículo derecho atraviesa esta vál-

Figura 21.6 Anatomía seccional del corazón
(a) Diagrama de una sección frontal a través del corazón en relajación, en el que se demuestran las principales referencias y el camino del flujo sanguíneo a través de las aurículas y los ventrículos (flechas). **(b)** Fotografía de los músculos papilares y de las cuerdas tendinosas que soportan la válvula AV derecha. La fotografía fue tomada en el interior del ventrículo derecho, mirando hacia una luz encendida dentro de la aurícula derecha. **(c)** Vista anterior de una sección frontal del corazón, mostrando los rasgos internos y las válvulas. Se han inyectado las arterias y venas cardíacas con látex; las arterias están en rojo y las venas en azul. **(d)** Corte horizontal a través del corazón a nivel de la vértebra T_8.

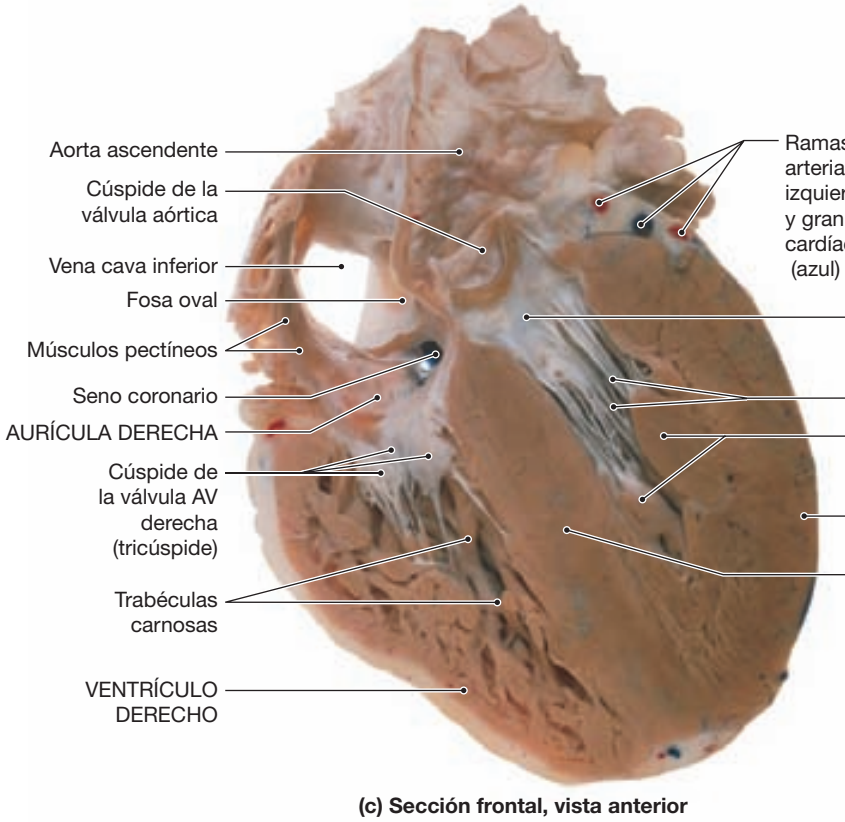




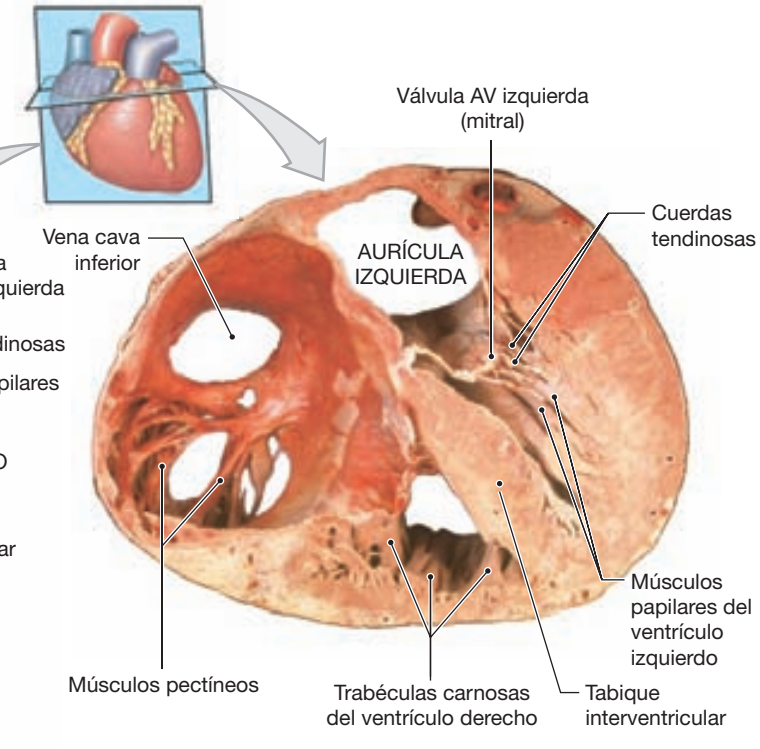
(b) Vista inferior, ventrículo derecho



(a) Sección frontal, vista anterior



(c) Sección frontal, vista anterior



(d) Sección horizontal, vista superior

vula para penetrar en el **tronco de la pulmonar,** el comienzo del circuito pulmonar. La disposición de las cúspides de esta válvula evita el retorno de la sangre hacia el ventrículo derecho cuando la cámara se relaja. Desde el tronco de la pulmonar, la sangre fluye hacia las **arterias pulmonares derecha e izquierda** (**v. figuras 21.5** y **21.6**). Estos vasos se ramifican repetidamente dentro de los pulmones antes de nutrir los capilares pulmonares, donde tiene lugar el intercambio gaseoso.

Aurícula izquierda [v. figura 21.5/21.6a]

Desde los capilares pulmonares, la sangre, ahora rica en oxígeno, fluye hacia pequeñas venas que al final se unen para formar cuatro venas pulmonares, dos por cada pulmón. Estas **venas pulmonares izquierda** y **derecha** desembocan en la parte posterior de la aurícula izquierda (**v. figuras 21.5** y **21.6a**). La aurícula izquierda carece de músculos pectíneos, pero tiene una orejuela. La sangre que fluye desde la aurícula izquierda hacia el ventrículo izquierdo atraviesa la **válvula auriculoventricular (AV) izquierda,** también conocida *válvula mitral* (*mitra,* sombrero de obispo) o *bicúspide*. Como implica el nombre *bicúspide,* esta válvula contiene un par de cúspides (*bi,* dos) en vez de tres (*tri,* tres). La válvula auriculoventricular permite el flujo de sangre rica en oxígeno desde la aurícula izquierda al ventrículo izquierdo, pero evita que la sangre refluya en la dirección contraria.

Ventrículo izquierdo [v. figuras 21.5/21.6a,c,d]

El ventrículo izquierdo tiene la pared más gruesa de todas las cámaras cardíacas. El miocardio muy grueso permita desarrollar una presión suficiente como para impulsar la sangre por todo el circuito sistémico; en comparación el ventrículo derecho, que presenta una pared relativamente fina, debe impulsar la sangre hasta los pulmones y de vuelta al corazón, una distancia total de aproximadamente sólo 30 cm. La organización interna del ventrículo izquierdo recuerda la del ventrículo derecho (**v. figura 21.6a,c,d**). Sin embargo, las trabéculas carnosas son más prominentes de lo que lo son en el ventrículo derecho, no hay banda moderadora y, como la válvula mitral tiene dos cúspides, hay dos grandes músculos papilares en vez de tres.

La sangre abandona el ventrículo izquierdo atravesando la **válvula aórtica** *(válvula semilunar aórtica)* hacia la **aorta ascendente.** La disposición de las cúspides en la válvula aórtica es la misma que en la válvula semilunar pulmonar. Se aprecian dilataciones saculares en la base de la aorta ascendente adyacentes a cada cúspide. Estas saculaciones, llamados **senos aórticos,** evitan que las cúspides individuales se adhieran a la pared de la aorta cuando la válvula se abre.

Las *arterias coronarias derecha* e *izquierda*, que irrigan el miocardio, se originan en los senos aórticos. La válvula aórtica evita el retorno de la sangre hacia el ventrículo izquierdo una vez ha sido impulsada fuera del corazón hacia el circuito sistémico. Desde la aorta ascendente, la sangre fluye a través del **cayado aórtico** y la **aorta descendente** (**v. figuras 21.5** y **21.6a**). El tronco de la pulmonar está fijado al cayado aórtico mediante el ligamento arterioso, una banda fibrosa que es el remanente de un importante vaso sanguíneo fetal. Los cambios cardiovasculares que se producen al nacimiento se describen en el capítulo 22.

Diferencias estructurales entre los ventrículos izquierdo y derecho [v. figura 21.6a,c,d]

Las diferencias anatómicas entre los ventrículos izquierdo y derecho se aprecian mejor en imágenes tridimensionales o seccionales (**v. figura 21.6a,c,d**). Los pulmones cubren parcialmente la cavidad pericárdica, estando situada la base del corazón entre los pulmones izquierdo y derecho. Como resultado, las arterias y venas pulmonares son relativamente cortas y anchas, y el ventrículo derecho no necesita normalmente un impulso muy fuerte para bombear la sangre a través del circuito pulmonar. La pared del ventrículo derecho es relativamente fina, y en sección recuerda a un saco adherido a la gruesa pared del ventrículo izquierdo. Cuando el ventrículo derecho se contrae, se desplaza hacia la pared del ventrículo izquierdo. Esto comprime la sangre dentro del ventrículo derecho y el aumento de la presión fuerza a la sangre a través de la válvula pulmonar hacia el tronco de la pulmonar. Este mecanismo mueve la sangre muy eficazmente a presiones relativamente bajas, que es lo único que se necesita para impulsar la sangre por el circuito pulmonar. Unas presiones mayores serían realmente peligrosas, porque los capilares pulmonares son muy delicados. Presiones tan elevadas como las que se encuentran en los capilares sistémicos producirían una lesión de los vasos pulmonares y el paso forzado de líquidos a los alvéolos pulmonares.

Una disposición de impulsión comparable no resultaría adecuada para el ventrículo izquierdo, porque hay que ejercer una fuerza seis o siete veces mayor para bombear la sangre a través del circuito sistémico. El ventrículo izquierdo, que dispone de una pared muscular extremadamente gruesa, presenta una sección circular. Cuando el ventrículo izquierdo se contrae, ocurren dos hechos: la distancia entre la base y el vértice se reduce y el diámetro de la cámara ventricular disminuye. Si se imagina los efectos de exprimir y enrollar simultáneamente el extremo de un tubo de pasta de dientes, se hará mejor a la idea. Las fuerzas generadas son bastante intensas, más que suficientes para forzar la apertura de la válvula aórtica e impulsar la sangre hacia la aorta ascendente. Cuando el poderoso ventrículo izquierdo se contrae, también protruye hacia la cavidad ventricular derecha. Esta intrusión mejora la eficacia de los esfuerzos del ventrículo derecho. Las personas cuya musculatura ventricular derecha ha sufrido una lesión grave pueden sobrevivir por el impulso suplementario de la contracción del ventrículo izquierdo.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo se llama el surco que separa las aurículas de los ventrículos?
2. ¿Cuáles son algunas de las características externas que diferencian las aurículas de los ventrículos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Estructura y funcionamiento de las válvulas cardíacas [v. figuras 21.6/21.7]

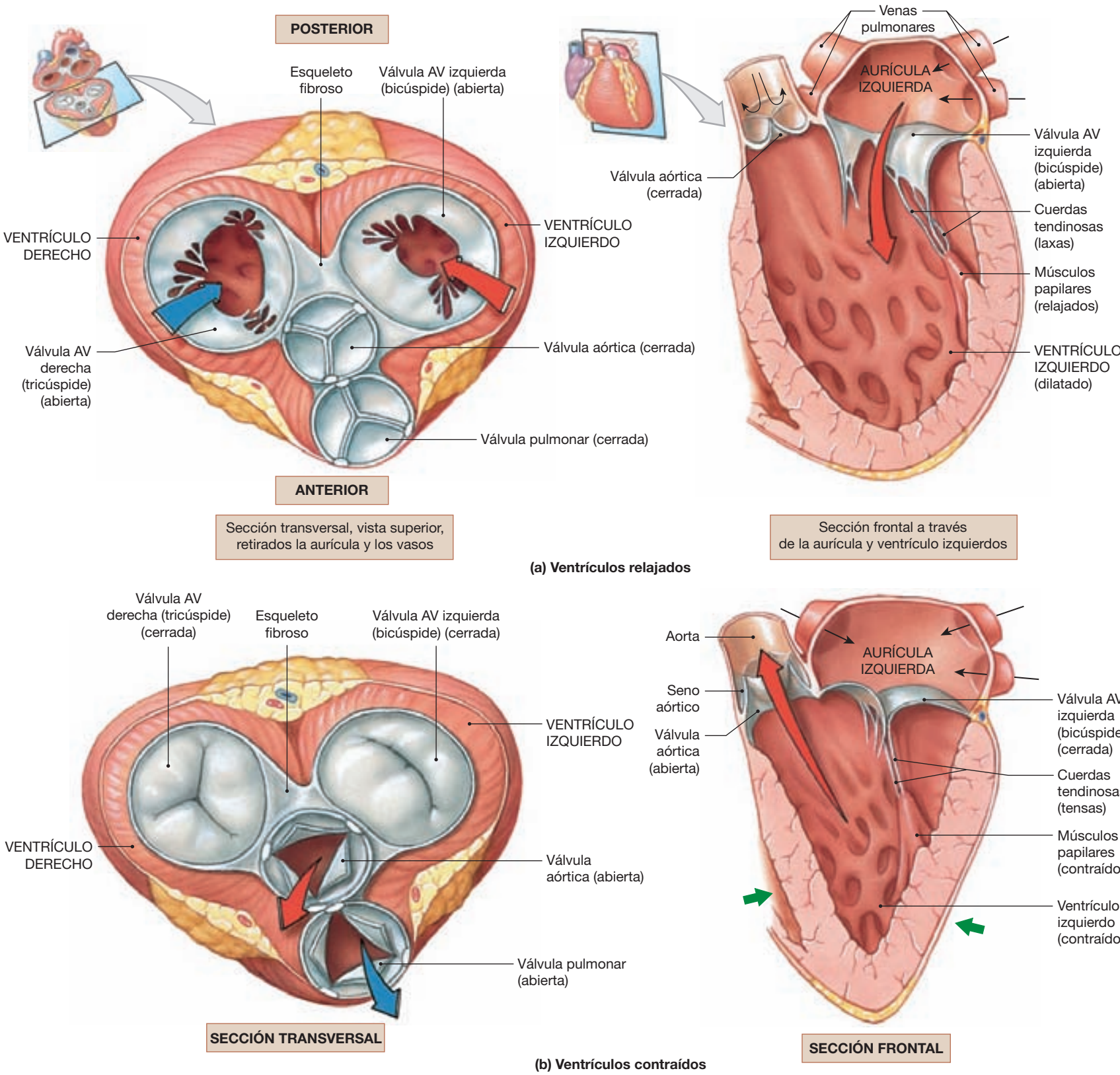
Los detalles sobre la estructura y el funcionamiento de las cuatro válvulas cardíacas se muestran en las **figuras 21.6** y **21.7**.

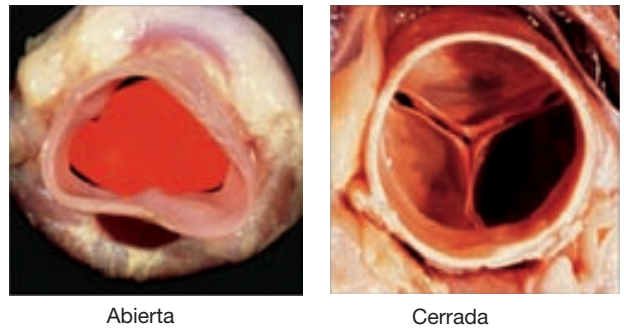
Las *válvulas auriculoventriculares (AV)* están situadas entre las aurículas y los ventrículos. Cada válvula AV tiene cuatro componentes: 1) un anillo de tejido conjuntivo que se fija al esqueleto fibroso del corazón; 2) cúspides de tejido conjuntivo, que funcionan para cerrar la comunicación entre las cámaras cardíacas, y 3) *cuerdas tendinosas* que fijan los bordes de las cúspides a 4) los *músculos papilares* de la pared cardíaca.

Hay dos **válvulas semilunares** que regulan el flujo de salida de los dos ventrículos. Estas válvulas toman sus nombres de la forma de sus tres valvas o cúspides, que recuerdan bolsillos de forma semilunar. La **válvula pulmonar** se encuentra en la salida del tronco de la pulmonar del ventrículo derecho, mientras que la **válvula aórtica** está situada en la salida de la aorta del ventrículo izquierdo.

Funcionamiento valvular durante el ciclo cardíaco

Las cuerdas tendinosas y los músculos papilares asociados a las válvulas AV desempeñan un importante papel en el funcionamiento normal de las mismas durante el ciclo cardíaco. Durante el período de relajación ventricular *(diástole ventricular)* los ventrículos se llenan de sangre, los músculos papilares están relajados y la válvula AV abierta no ofrece resistencia al flujo de sangre desde la aurícula al ventrículo. Durante este período, las válvulas semilunares están





(c) Funcionamiento de la válvula semilunar

Figura 21.7 Válvulas cardíacas
Las flechas roja (oxigenada) y azul (desoxigenada) indican el flujo sanguíneo hacia dentro o fuera de un ventrículo; las flechas negras, flujo sanguíneo en la aurícula; y flechas verdes, contracción ventricular. **(a)** Cuando los ventrículos están relajados, las válvulas AV se encuentran abiertas y las válvulas semilunares están cerradas. Las cuerdas tendinosas están laxas y los músculos papilares se relajan. **(b)** Cuando se contraen los ventrículos, las válvulas AV están cerradas y las válvulas semilunares abiertas. Obsérvese en la sección frontal la fijación de la válvula AV izquierda a las cuerdas tendinosas y los músculos papilares. **(c)** La válvula aórtica en posiciones abierta (izquierda) y cerrada (derecha). Las cúspides individuales se solapan entre sí en la posición cerrada.

Nota clínica

Prolapso de la válvula mitral Las alteraciones menores en la forma de la válvula son relativamente habituales. Por ejemplo, un 10% estimado de la población normal de edad entre 14 y 30 años presenta algún grado de **prolapso de la válvula mitral (PVM).** En esta condición, las cúspides de la válvula mitral no cierran adecuadamente. El problema puede incluir unas cuerdas tendinosas anormalmente largas (o cortas) o un mal funcionamiento de los músculos papilares. Como la válvula no funciona a la perfección, se puede producir alguna regurgitación durante la sístole ventricular izquierda. Las agitaciones, remolinos y corrientes que se producen durante la regurgitación originan un sonido de corriente o gorgoteo conocido como **soplo cardíaco.** La mayoría de estos individuos se encuentran totalmente asintomáticos y tienen una vida normal y sana, ignorantes de cualquier alteración circulatoria. Sin embargo, la regurgitación puede aumentar el riesgo de infección valvular tras procedimientos dentales (o algunos médicos).

cerradas; las válvulas semilunares no necesitan cuerdas tendinosas porque las posiciones relativas de las cúspides son estables, y las tres cúspides simétricas se apoyan entre sí como las patas de un trípode.

Cuando comienza el período de contracción ventricular (sístole ventricular), la sangre que abandona los ventrículos abre las válvulas semilunares, mientras que la sangre que retorna a las aurículas desplaza y junta las cúspides de las válvulas AV. La tensión en los músculos papilares y en las cuerdas tendinosas evita que las cúspides se desplacen aún más y se abran dentro de las aurículas. Por tanto, las cuerdas tendinosas y los músculos papilares resultan esenciales para evitar el reflujo o *regurgitación* de la sangre a las aurículas cada vez que se contraen los ventrículos.

Alteraciones valvulares graves pueden interferir con el funcionamiento cardíaco; el momento y la intensidad de los ruidos cardíacos relacionados pueden aportar una información diagnóstica útil. Los médicos utilizan un instrumento denominado **estetoscopio** para auscultar los ruidos cardíacos normales y anormales. Los ruidos valvulares pueden amortiguarse al atravesar el pericardio, los tejidos circundantes y la pared torácica. Como resultado, la colocación del estetoscopio no siempre se corresponde con la posición de la válvula en estudio.

Vasos sanguíneos coronarios [v. figura 21.8]

El corazón trabaja continuamente, y las células musculares cardíacas requieren aportes fiables de oxígeno y nutrientes. La **circulación coronaria** aporta la sangre al tejido muscular del corazón. Durante un ejercicio máximo, la demanda de oxígeno se eleva considerablemente, y el flujo sanguíneo al corazón puede incrementarse hasta nueve veces el del nivel de reposo.

La circulación coronaria (**v. figura 21.8**) incluye una extensa red de vasos sanguíneos coronarios. Las **arterias coronarias** derecha e izquierda se originan en la base de la aorta ascendente, dentro de los senos aórticos, como las primeras ramas de este vaso. La presión sanguínea que se encuentra aquí es la más elevada de todo el circuito sistémico, y esta presión garantiza un flujo sanguíneo continuo que cubra las demandas del tejido muscular cardíaco activo.

Arteria coronaria derecha [v. figura 21.8]

La **arteria coronaria derecha** (ACD) se origina a partir de la aorta ascendente, gira a la derecha y circula entre la orejuela derecha y el tronco de la pulmonar. Continúa después dentro del surco coronario. Aunque puede haber muchas variantes, las ramas de la arteria coronaria derecha típicamente aportan sangre a: 1) la aurícula derecha; 2) una parte de la aurícula izquierda; 3) el tabique interauricular; 4) todo el ventrículo derecho; 5) una parte variable del ventrículo izquierdo; 6) el tercio posteroinferior del tabique interventricular, y 7) porciones del sistema de conducción del corazón. En la **figura 21.8** se muestran sus principales ramas.

1. *Ramas auriculares:* cuando se curva sobre la superficie anterior del corazón, la arteria coronaria derecha da origen a **ramas auriculares** que nutren el miocardio de la aurícula derecha y de una parte de la aurícula izquierda.
2. *Ramas ventriculares:* cercea del borde cardíaco derecho, la arteria coronaria derecha suele dar origen a la **rama marginal derecha** que se extiende hacia el vértice sobre la superficie anterior del ventrículo derecho. Continúa después sobre la superficie posterior del corazón, originando la **rama interventricular posterior** o arteria descendente posterior, la cual discurre hacia el vértice dentro del surco interventricular posterior. Esta rama aporta sangre al tabique interventricular y a las partes adyacentes de los ventrículos.
3. *Ramas para el sistema de conducción:* una pequeña rama próxima a la base de la arteria coronaria derecha penetra en la pared auricular para alcanzar el *nódulo sinoauricular (SA)*, también conocido como el marcapasos cardíaco. Una pequeña rama para el *nódulo auriculoventricular (AV)*, otra parte del sistemas de conducción del corazón, se origina a partir de la arteria coronaria derecha cerca de la rama interventricular posterior. Estos nódulos y su papel en la regulación de la frecuencia cardíaca serán el tema de una sección posterior.

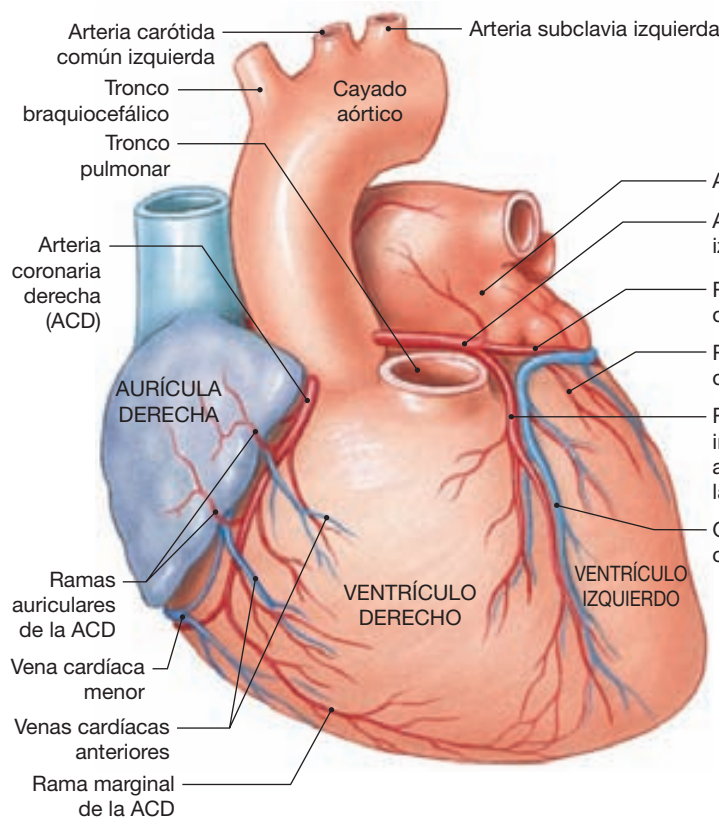
Arteria coronaria izquierda [v. figura 21.8]

La **arteria coronaria izquierda** aporta habitualmente sangre a: 1) la mayoría del ventrículo izquierdo; 2) un segmento estrecho del ventrículo derecho; 3) la mayor parte de la aurícula izquierda, y 4) los dos tercios anteriores del tabique interventricular. Cuando alcanza la superficie anterior del corazón, da origen a la *rama circunfleja* y a una *rama interventricular anterior* (**v. figura 21.8**). La **rama circunfleja** se incurva hacia la izquierda dentro del surco coronario, dando origen a una o más ramas diagonales según se curva hacia la superficie cardíaca posterior. Suele dar origen a la **rama marginal izquierda** y, al alcanzar la superficie posterior del corazón forma una **rama ventricular izquierda posterior.** Las porciones distales de la arteria circunfleja se encuentran y fusionan a menudo con pequeñas ramas de la arteria coronaria derecha. La **rama interventricular anterior,** o *rama descendente anterior izquierda*, mucho mayor, discurre a lo largo de la superficie anterior dentro del surco interventricular anterior. Esta arteria nutre el miocardio ventricular anterior y los dos tercios anteriores del tabique interventricular. Pequeñas ramas de la rama interventricular anterior de la arteria coronaria izquierda se continúan con aquellas de la rama interventricular posterior de la arteria coronaria derecha. Tales interconexiones entre arterias se denominan **anastomosis.** Como las arterias están interconectadas de esta forma, el aporte sanguíneo al músculo ventricular permanece relativamente constante, independientemente de las fluctuaciones de presión dentro de las arterias coronarias izquierda y derecha.

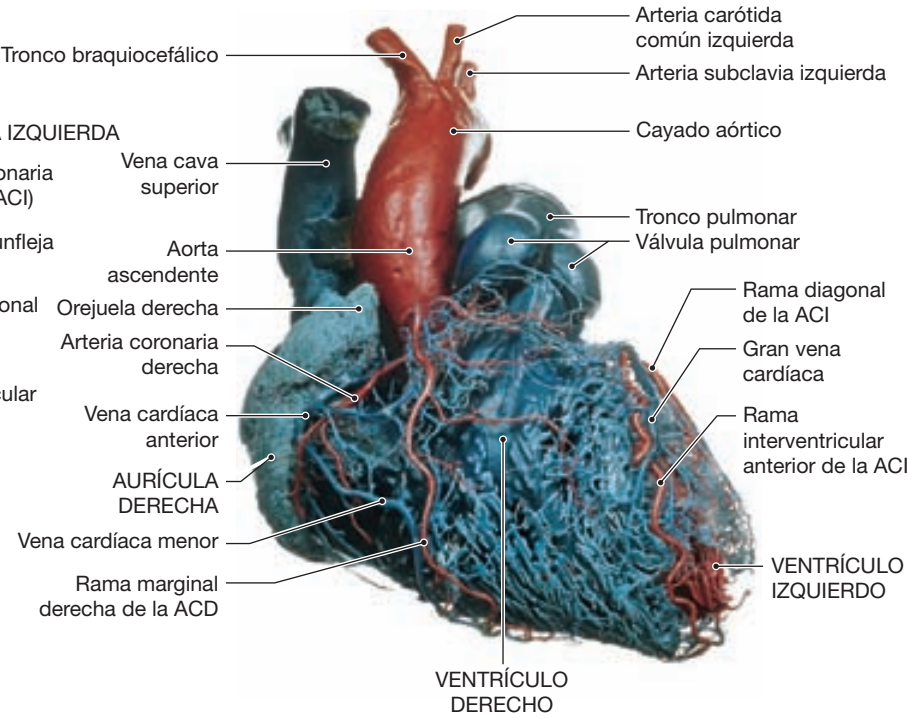
Venas cardíacas [v. figuras 21.5b/21.8a,b]

La **gran vena cardíaca** y la **vena cardíaca media** recogen la sangre de venas menores que drenan los capilares miocárdicos; depositan esta sangre venosa en el **seno coronario,** una gran vena de pared fina que está situada en la parte posterior del surco coronario (**v. figuras 21.5b** y **21.8a,b**). Como se señaló anteriormente en este capítulo, el seno coronario desemboca en la aurícula derecha inferior a la desembocadura de la vena cava inferior.

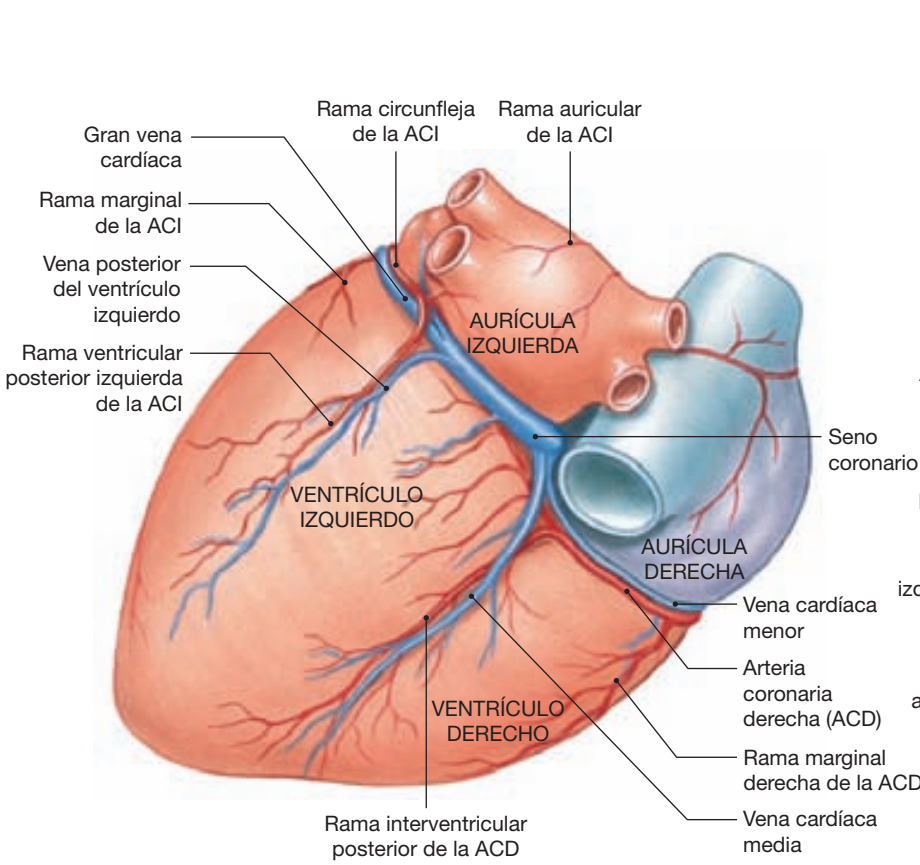
Las venas cardíacas que desembocan en la gran vena cardíaca o en el seno coronario incluyen: 1) la **vena posterior del ventrículo izquierdo,** que drena el área irrigada por la arteria circunfleja; 2) la **vena cardíaca media,** que drena el área irrigada por la arteria interventricular posterior, y 3) la **vena cardíaca menor,** que recibe sangre de las superficies posteriores de la aurícula y ventrículo derechos. Las **venas cardíacas anteriores,** que drenan la superficie anterior del ventrículo derecho, desembocan directamente en la aurícula derecha.



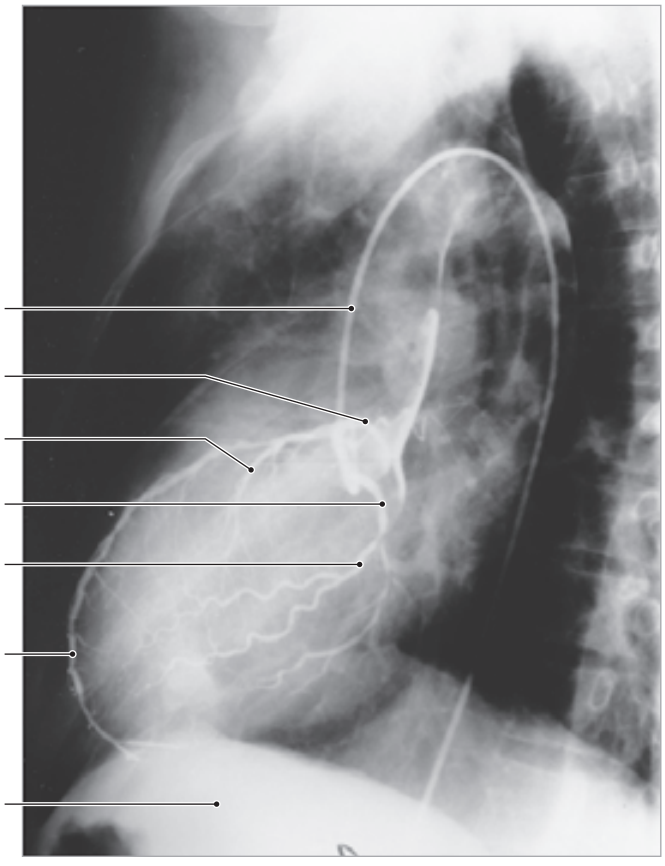
(a) Vista anterior



(c) Circulación coronaria y grandes vasos, vista anterior



(b) Vista posterior

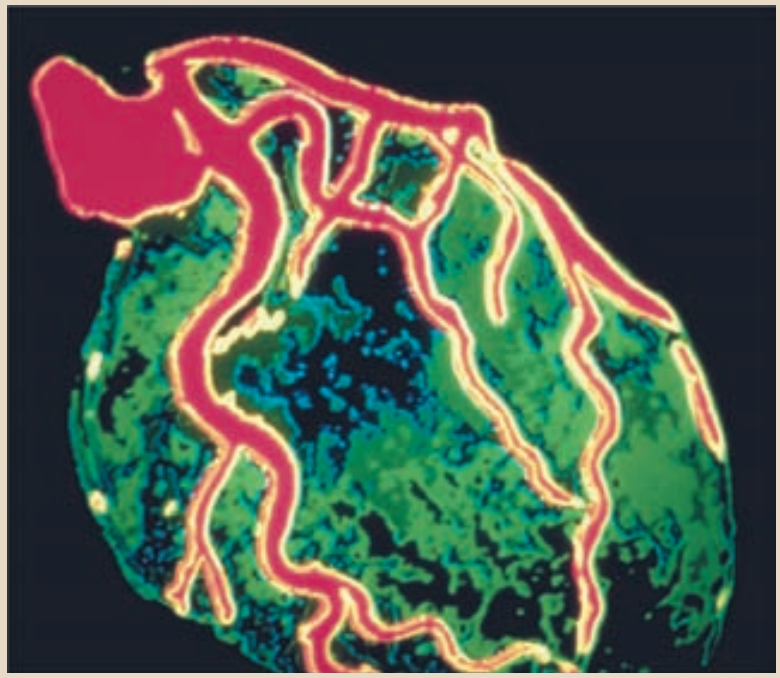

Catéter
Arteria coronaria izquierda (ACI)
Rama diagonal de la ACI
Rama circunfleja de la ACI
Rama marginal izquierda de la ACI
Rama interventricular anterior de la ACI
Diafragma

(d) Angiograma coronario, vista lateral

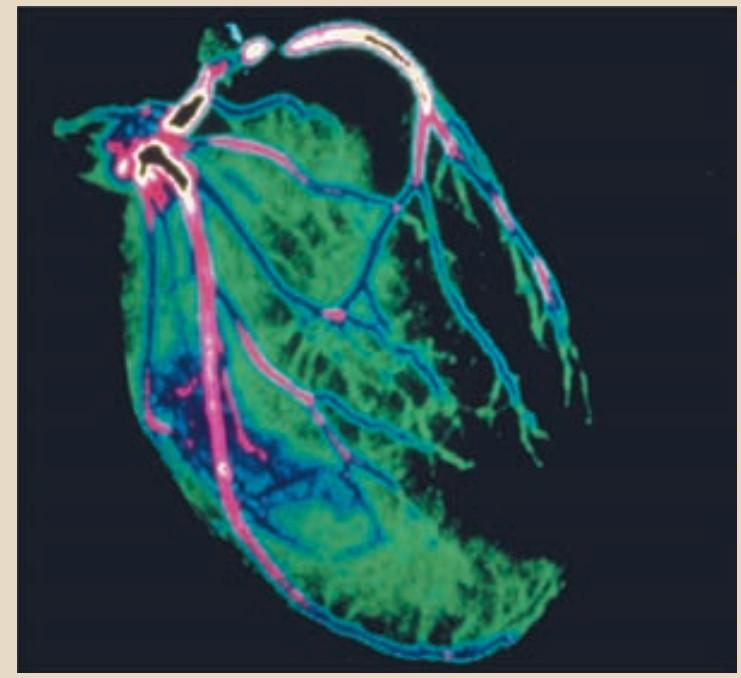
Figura 21.8 Circulación coronaria
(a) Vasos coronarios que nutren la superficie anterior del corazón. **(b)** Vasos coronarios que nutren la superficie posterior del corazón. **(c)** Un molde de los vasos coronarios, demostrando la complejidad y extensión de la circulación coronaria. También se ven los vasos coronarios en la *figura 21.5*. **(d)** Angiograma coronario mostrando las arterias coronarias en proyección lateral izquierda.

Nota clínica

Enfermedad arterial coronaria El término **enfermedad arterial coronaria (EAC)** hace relación a cambios degenerativos en la circulación coronaria. Las fibras musculares cardíacas necesitan un aporte constante de oxígeno y nutrientes, y cualquier reducción de la circulación coronaria ocasiona la correspondiente disminución de la funcionalidad cardíaca. Tal reducción del aporte circulatorio, conocido como **isquemia coronaria,** suele deberse a un bloque parcial o completo de las arterias coronarias. La causa habitual es la formación de un depósito graso o *placa* en la pared de un vaso coronario. La placa, o un trombo asociado, estenosa entonces el paso y reduce o interrumpe el flujo sanguíneo. Los espasmos del músculo liso de la pared vascular pueden disminuir aún más el flujo sanguíneo o incluso detenerlo completamente. Se pueden utilizar varios métodos de imagen para visualizar la circulación coronaria, incluyendo los estudios de **angiografía coronaria** (v. figura 21.8d) y ASD (angiografía por sustracción digital) (v. figura 21.9a,b).

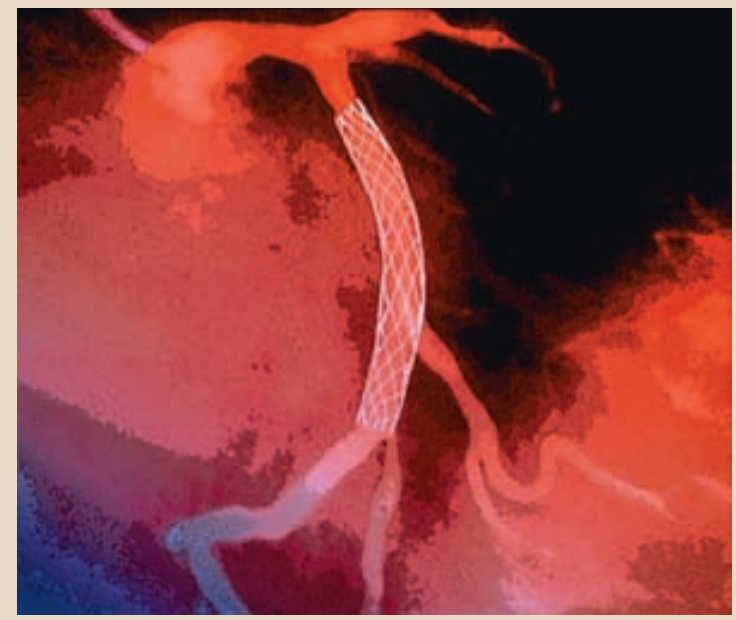


(a) Circulación normal



(b) Circulación restringida

(c) Angioplastia con balón



(d) Endoprótesis coronaria

Figura 21.9 Circulación coronaria y pruebas clínicas
(a) Una imagen de ASD potenciada en color de un corazón sano. Las paredes ventriculares tiene un extenso aporte circulatorio. (No se muestran las aurículas.) **(b)** Una imagen de ASD potenciada en color de un corazón lesionado. La mayoría del miocardio ventricular está privado de circulación. **(c)** Se puede utilizar en ocasiones la angioplastia con balón para eliminar un bloqueo circulatorio. Se dirige el catéter a través de las arterias coronarias hasta el punto del bloqueo y se infla con el fin de presionar la placa blanda contra la pared del vaso. **(d)** A menudo se coloca una endoprótesis tras la angioplastia con balón para ayudar a evitar la recidiva de las placas. Este estudio muestra una endoprótesis en la rama interventricular anterior de la arteria coronaria izquierda.

Nota clínica *(cont.)*

Uno de los primeros síntomas de la EAC es a menudo la angina de pecho o *angor pectoris* (*angor*, espasmo doloroso + *pectoris*, del pecho). En la forma más frecuente de angina, se produce una insuficiencia temporal del aporte de oxígeno e isquemia cuando la carga de trabajo cardíaca aumenta. Aunque el paciente puede encontrarse bien en reposo, un ejercicio poco habitual o el estrés emocional pueden desencadenar una sensación de presión, constricción torácica y dolor que se puede irradiar desde el área esternal a los brazos, la espalda y el cuello.

Se puede controlar la angina a menudo con una combinación de tratamiento farmacológico y cambios en el estilo de vida. Los cambios de estilo de vida para combatir la angina incluyen: 1) limitar las actividades que se sabe desencadenan los ataques anginosos, tales como el ejercicio intenso, y evitando situaciones estresantes a la vez que se practica un ejercicio regular moderado dentro de los límites tolerados; 2) dejar de fumar, y 3) modificar la dieta para reducir el consumo de grasas. Entre las medicaciones útiles para el control de la angina se incluyen los fármacos que bloquean la estimulación simpática *(propranolol* o *metoprolol);* vasodilatadores, tales como *nitroglicerina* o *péptido natriurético atrial*; o fármacos que bloquean el movimiento de calcio al interior de las fibras musculares cardíacas *(antagonistas de los canales del calcio).* Los fármacos que reducen las concentraciones de colesterol y lípidos en sangre pueden evitar el crecimiento de la placa o incluso causan la regresión de la misma.

También se puede tratar quirúrgicamente la angina. Una placa única blanda puede eliminarse con la ayuda de un **catéter** fino alargado. El catéter, un tubo de pequeño diámetro se inserta en una arteria grande (generalmente la femoral) y es guiado hasta la placa de una arteria coronaria. Se pueden incorporar una variedad de diferentes herramientas quirúrgicas en el catéter, pudiendo entonces eliminarse la placa con haces láser o fragmentarla con una versión en miniatura de una máquina rotatoria. Los restos producidos durante la destrucción de la placa son aspirados por el catéter, evitando el taponamiento de vasos menores.

En la **angioplastia con balón** (*angeion*, vaso), la punta del catéter contiene un balón hinchable. Una vez situado en posición, se infla el balón, comprimiendo la placa contra las paredes del vaso (**v. figura 21.9c**). Este procedimiento funciona mejor en placas pequeñas (menos de 10 mm) y blandas. Como se puede desarrollar una reestenosis, o repetición de la estenosis, se puede colocar a menudo un stent o manguito de metal dentro de la arteria con el fin de mantenerla abierta (**v. figura 21.9d**).

La **cirugía de derivación coronaria** implica la toma de un pequeño segmento, bien de una pequeña arteria (a menudo de la arteria torácica interna) o de una vena periférica, tal como una rama de la vena femoral, y su utilización para crear un desvío alrededor del segmento obstruido de la arteria coronaria. Se pueden redirigir hasta cuatro arterias coronarias de esta forma durante una única operación. Los procedimientos son denominados de acuerdo con el número de vasos reparados, de forma que se habla de operaciones de derivación coronaria única, doble, triple o cuádruple. Las recomendaciones actuales son que la cirugía de derivación coronaria debe reservarse para aquellos casos de angina severa refractaria a otros tratamientos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué sucedería si no hubiera válvulas entre las aurículas y los ventrículos?
2. ¿Qué tres venas principales desembocan en la aurícula derecha?
3. Señale el recorrido de la sangre desde el ventrículo izquierdo hasta las superficies respiratorias de los pulmones
4. ¿Qué evita que las válvulas AV se reabran dentro de las aurículas?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Ciclo cardíaco [v. figura 21.10]

El período entre el comienzo de un latido cardíaco y el del siguiente es un ciclo cardíaco único. El ciclo cardíaco incluye, por tanto, períodos alternantes de contracción y relajación. Para cualquier cámara cardíaca, se puede dividir el ciclo cardíaco en dos fases. Durante la contracción o **sístole,** una cámara impulsa la sangre, bien a otra cámara cardíaca o bien a un tronco arterial. La sístole viene seguida de una segunda fase, de relajación o **diástole.** Durante la diástole la cámara se llena con sangre y se prepara para el comienzo del siguiente ciclo cardíaco. El resumen de los acontecimientos que se producen en el ciclo cardíaco se muestra en la **figura 21.10**.

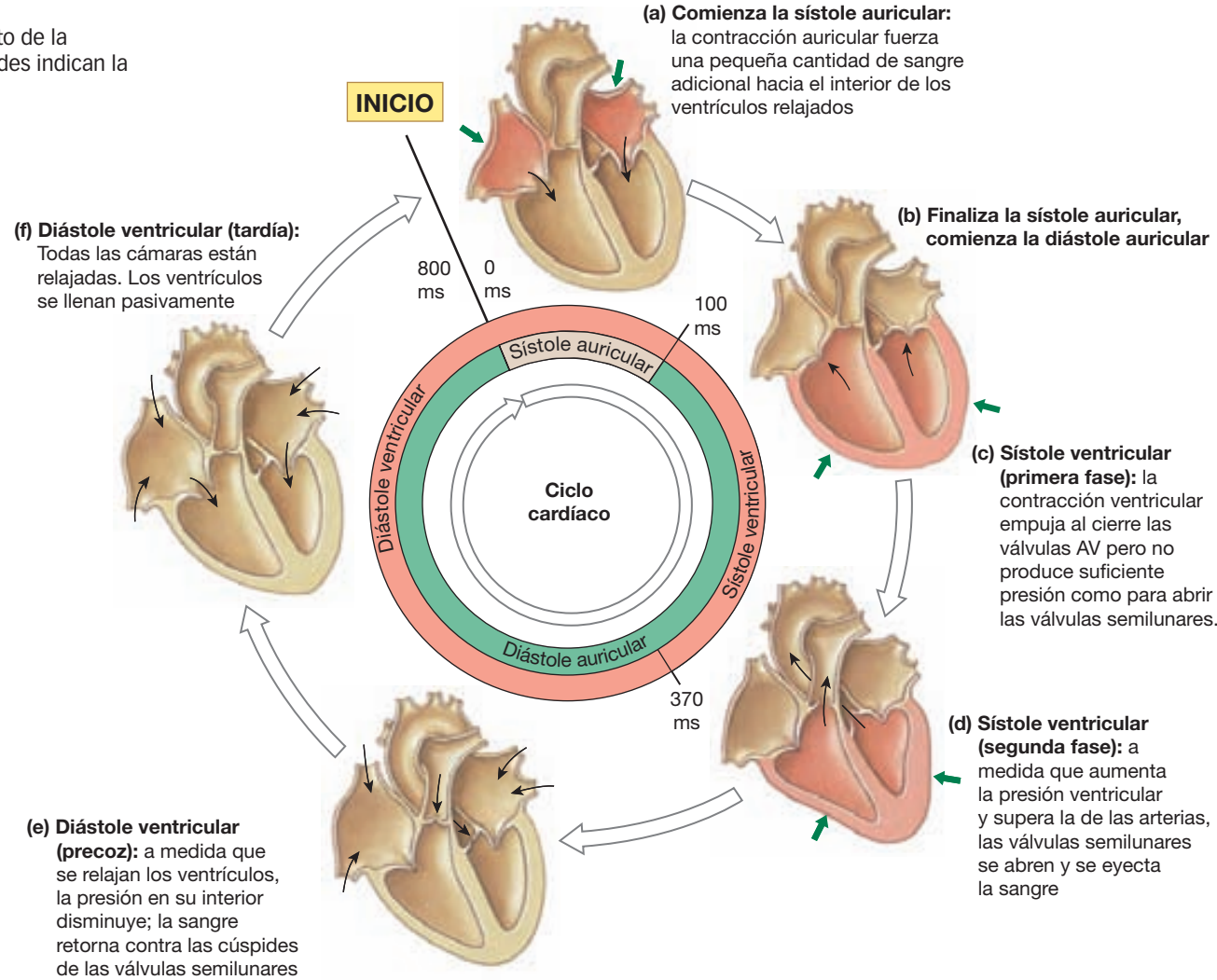
Coordinación de las contracciones cardíacas [v. figura 21.11]

La función de cualquier bomba es desarrollar una presión y mover un volumen determinado de líquido en una dirección específica a una velocidad aceptable. El corazón trabaja en ciclos de contracción y relajación, y la presión dentro de cada cámara aumenta y desciende de forma alternativa. Las válvulas AV y semilunares ayudan a garantizar un flujo unidireccional de sangre a pesar de estas oscilaciones de presión. La sangre saldrá de la aurícula sólo mientras la válvula AV esté abierta y la presión auricular supere la presión ventricular. De manera similar, la sangre fluirá desde un ventrículo a un tronco arterial únicamente cuando la válvula semilunar esté abierta y la presión ventricular supere la presión arterial. El funcionamiento adecuado del corazón depende, por tanto, de una precisa temporalidad de las contracciones auriculares y ventriculares. Los elaborados marcapasos y sistemas de conducción normalmente logran la precisión de la temporalidad.

A diferencia del músculo estriado, el tejido muscular cardíaco se contrae por sí solo, en ausencia de estimulación nerviosa u hormonal. Esta capacidad inherente para generar y conducir impulsos se denomina *automatismo* o *autorritmicidad* (el automatismo también es característica de algunos tipos de tejido muscular liso expuestos en el capítulo 25). Los estímulos nerviosos u hormonales pueden alterar el ritmo básico de la contracción, pero incluso un corazón extirpado para un transplante cardíaco continuará latiendo a no ser que se adopten medidas para impedirlo.

Cada contracción sigue una secuencia precisa: la aurícula se contrae primero y posteriormente lo hacen los ventrículos. Si las contracciones siguen otra secuencia se altera el patrón normal de flujo sanguíneo. Por ejemplo, si las aurículas y ventrículos se contraen al mismo tiempo, el cierre de las válvulas AV evita el flujo sanguíneo entre las aurículas y los ventrículos. Las contracciones cardíacas están coordinadas por células conductoras especializadas, células musculares cardíacas que son incapaces de realizar contracciones potentes. Hay dos poblaciones diferenciadas de estas células. Las **células nodulares** son las responsables de establecer la frecuencia de contracción cardíaca, mientras que las **fibras de conducción** distribuyen el estímulo contráctil al miocardio en general (**v. figura 21.11**).

Figura 21.10 Ciclo cardíaco
Las flechas negras indican el movimiento de la sangre o de las válvulas; las flechas verdes indican la contracción miocárdica.


INICIO
(a) Comienza la sístole auricular: la contracción auricular fuerza una pequeña cantidad de sangre adicional hacia el interior de los ventrículos relajados
(b) Finaliza la sístole auricular, comienza la diástole auricular
(c) Sístole ventricular (primera fase): la contracción ventricular empuja al cierre las válvulas AV pero no produce suficiente presión como para abrir las válvulas semilunares.
(d) Sístole ventricular (segunda fase): a medida que aumenta la presión ventricular y supera la de las arterias, las válvulas semilunares se abren y se eyecta la sangre
(e) Diástole ventricular (precoz): a medida que se relajan los ventrículos, la presión en su interior disminuye; la sangre retorna contra las cúspides de las válvulas semilunares y fuerza su cierre. La sangre entra a las aurículas relajadas
(f) Diástole ventricular (tardía): Todas las cámaras están relajadas. Los ventrículos se llenan pasivamente
800 ms
0 ms
100 ms
370 ms
Sístole auricular
Diástole ventricular
Sístole ventricular
Diástole auricular
Ciclo cardíaco

Nódulos senoauricular y auriculoventricular
[v. figura 21.11]

Las células nodulares son especiales porque sus membranas celulares se despolarizan espontáneamente pasado un umbral. Las células nodulares están eléctricamente acopladas entre sí, con las fibras de conducción y con las células musculares cardíacas normales. Como resultado, cuando aparece un potencial de acción en una célula nodular, se propaga a través del sistema de conducción, alcanza el tejido muscular cardíaco y causa una contracción. De esta forma, las células nodulares determinan la frecuencia cardíaca.

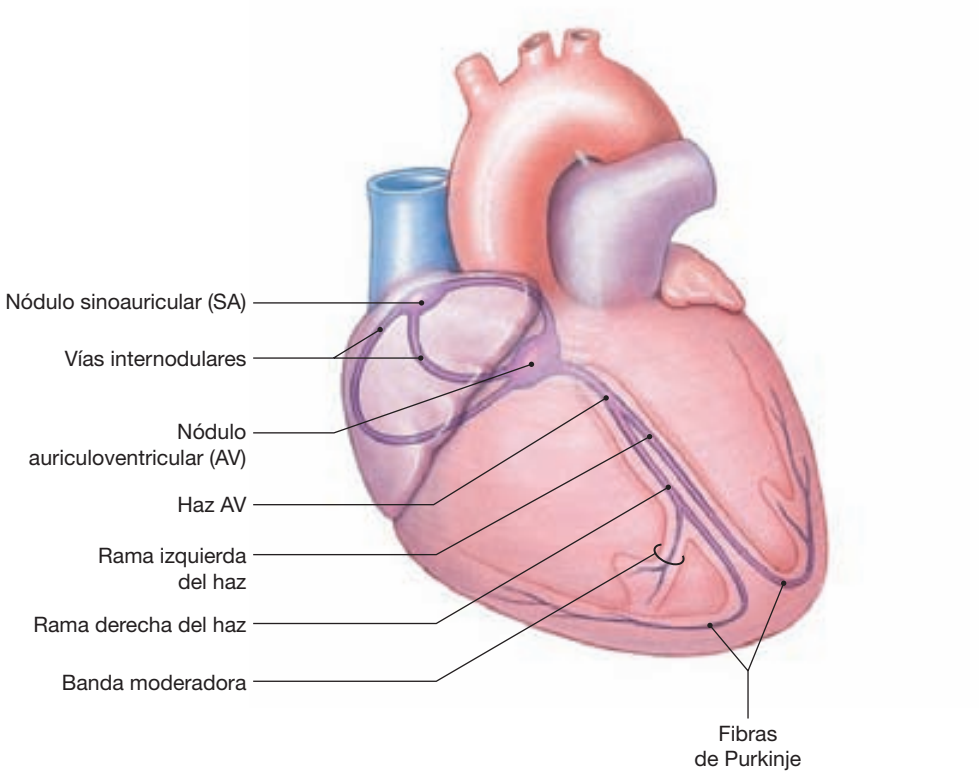
No todas las células nodulares se despolarizan al mismo ritmo y la frecuencia normal de contracción viene determinada por aquellas células nodulares que alcanzan primero un umbral; el impulso que producen llevará a otras células nodulares a alcanzar el umbral. Estas células de despolarización rápida son llamadas **células marcapasos.** Se encuentran en el **nódulo sinoauricular (nódulo SA),** o **marcapasos cardíaco.** El nódulo SA está incrustado en la pared posterior de la aurícula derecha, cerca de la desembocadura de la vena cava superior (v. figura 21.11). Las células marcapasos aisladas se despolarizan rápida y espontáneamente, generando 80-100 potenciales de acción por minuto.

Cada vez que el nódulo SA genera un impulso, se produce un latido, de forma que teóricamente la frecuencia cardíaca en reposo sería de 80-100 latidos por minuto (lpm). Sin embargo, cualquier factor que modifique el potencial en reposo o la velocidad de despolarización espontánea del nódulo SA alterará la frecuencia cardíaca. Por ejemplo, la actividad de las células nodulares se ve afectada por la actividad del sistema nervioso autónomo. Cuando las neuronas parasimpáticas liberan acetilcolina (Ach), se enlentece la velocidad de despolarización espontánea y disminuye la frecuencia cardíaca. Por el contrario, cuando las neuronas simpáticas liberan noradrenalina (NA), la tasa de despolarización aumenta y la frecuencia cardíaca se acelera. En condiciones normales de reposo, la actividad parasimpática disminuye la frecuencia cardíaca de los 80-100 impulsos por minuto inherentes al nódulo, a unos más relajados 70-80 latidos por minuto.

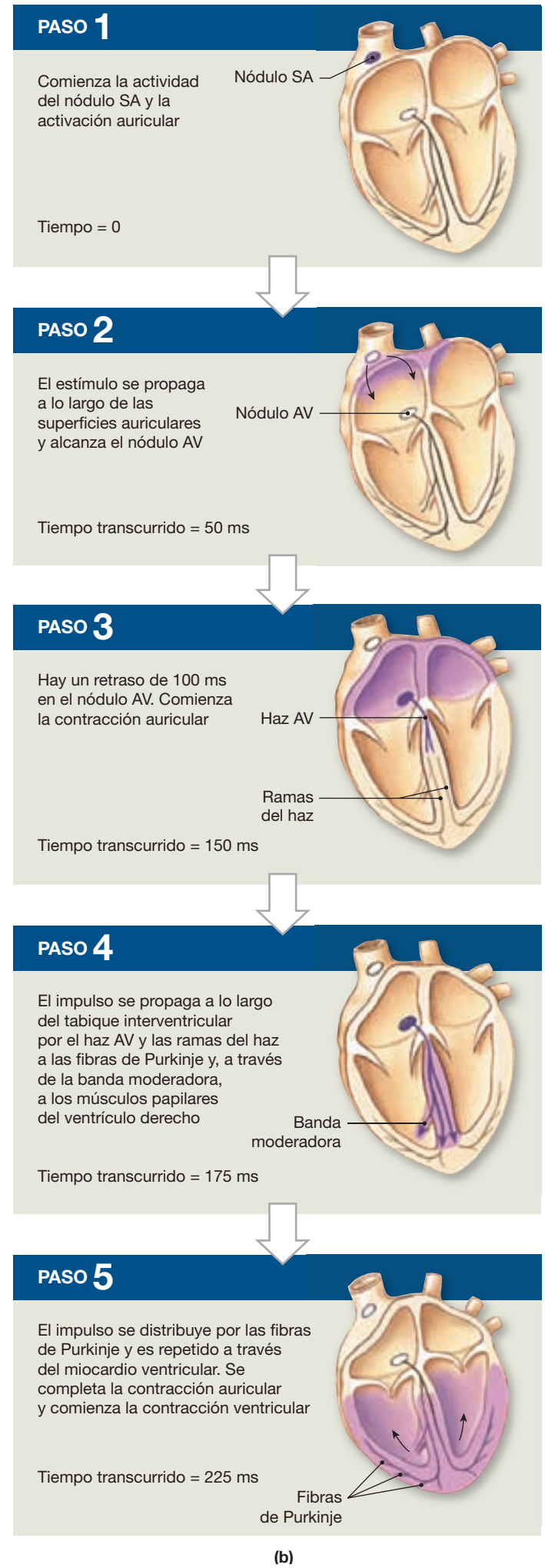
Varios problemas clínicos son el resultado de una función de marcapasos anormal. **Bradicardia** (*brady*s, lento) es el término utilizado para indicar que la frecuencia cardíaca es inferior a la normal, mientras que a una frecuencia cardíaca superior a la normal se la conoce como **taquicardia** (*tachys*, ligero). Estos dos términos son relativos y en la práctica clínica la definición varía en función de la frecuencia cardíaca en reposo normal y el hábito corporal del individuo.

Sistema de conducción del corazón [v. figura 21.11]

Las células del nódulo SA están conectadas eléctricamente a las del **nódulo auriculoventricular (nódulo AV)** de mayor tamaño a través de fibras de conducción en las paredes auriculares (v. figura 21.11). A medida que la señal para la contracción pasa del nódulo SA al nódulo AV a través de *vías internodulares,* las fibras de conducción también transmiten el estímulo contráctil a las células musculares cardíacas de ambas aurículas. El potencial



(a) Nódulos y fibras de conducción


PASO 1
Comienza la actividad del nódulo SA y la activación auricular
Nódulo SA
Tiempo = 0
PASO 2
El estímulo se propaga a lo largo de las superficies auriculares y alcanza el nódulo AV
Nódulo AV
Tiempo transcurrido = 50 ms
PASO 3
Hay un retraso de 100 ms en el nódulo AV. Comienza la contracción auricular
Haz AV
Ramas del haz
Tiempo transcurrido = 150 ms
PASO 4
El impulso se propaga a lo largo del tabique interventricular por el haz AV y las ramas del haz a las fibras de Purkinje y, a través de la banda moderadora, a los músculos papilares del ventrículo derecho
Banda moderadora
Tiempo transcurrido = 175 ms
PASO 5
El impulso se distribuye por las fibras de Purkinje y es repetido a través del miocardio ventricular. Se completa la contracción auricular y comienza la contracción ventricular
Tiempo transcurrido = 225 ms
Fibras de Purkinje

(b)

Figura 21.11 Sistema de conducción del corazón
(a) El estímulo para la contracción es generado por células marcapasos en el nódulo SA. Desde allí, los impulsos siguen tres rutas diferentes a través de las paredes auriculares para alcanzar el nódulo AV. Tras un pequeño retraso, los impulsos son conducidos al haz de His (haz AV), y posteriormente por las ramas del haz, las células de Purkinje, y las células miocárdicas ventriculares. **(b)** El movimiento del estímulo contráctil a través del corazón se muestra en los **PASOS 1-5.**

de acción se extiende entonces a lo largo de la superficie auricular a través de contactos célula a célula. El estímulo afecta sólo a las aurículas, ya que el esqueleto fibroso aísla eléctricamente el miocardio auricular del miocardio ventricular.

El nódulo AV se encuentra en el suelo de la aurícula derecha cerca de la desembocadura del seno coronario. Debido a diferencias en la forma de las células nodulares, el impulso se enlentece a medida que atraviesa el nódulo AV. Desde allí, el impulso se transmite al **haz AV,** también conocido como *haz de His* (HIS). Este haz relativamente grande de fibras de conducción discurre a lo largo del tabique interventricular durante un segmento corto antes de dividirse en una **rama derecha del haz** y una **rama izquierda del haz** que se extienden hacia el vértice y después se irradian a través de las superficies internas de ambos ventrículos. En este punto, las **células de Purkinje** *(fibras de Purkinje)* trasladan los impulsos muy rápidamente a las células contráctiles del miocardio ventricular. Las fibras de conducción de la banda moderadora retrasan el estímulo para los músculos papilares, los cuales tensan las cuerdas tendinosas antes de que se contraigan los ventrículos.

El estímulo para la contracción se genera en el nódulo SA, y la relación anatómica entre las células contráctiles, las células nodulares y las fibras de conducción distribuye el impulso de forma que: 1) las aurículas se contraen conjuntamente, antes que los ventrículos, y 2) los ventrículos se contraen simultáneamente en una onda que comienza en el vértice y se extiende hacia la base. Cuando los ventrículos se contraen de esta forma, la sangre es impulsada hacia la base del corazón y al exterior a los troncos aórtico y pulmonar.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato cardiovascular, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Nota clínica

Arritmias cardíacas, marcapasos artificiales e infartos de miocardio

Arritmias cardíacas

Existen muchos tipos diferentes de **arritmias cardíacas**, o de ritmos cardíacos anormales, que pueden carecer de consecuencias o resultar mortales. Muchas personas presentan arritmias cardíacas leves. Por ejemplo, los niños y los adultos jóvenes presentan habitualmente una aceleración de la frecuencia cardíaca durante la inspiración y un enlentecimiento durante la espiración.

Los adultos sanos pueden presentar ocasionalmente *extrasístoles auriculares (ESA)* que son variables en duración y frecuencia. En una ESA, el ritmo auricular normal se ve momentáneamente interrumpido por una contracción auricular «extra». El estrés, la cafeína y diversos fármacos pueden aumentar la incidencia de ESA, presumiblemente al aumentar la permeabilidad de los marcapasos SA. El impulso se extiende a lo largo de la vía de conducción normalmente, y una contracción ventricular típica continúa al latido auricular.

Si las arritmias son ocasionales y de corta duración, raramente tienen importancia. Sin embargo, si una arritmia persiste o tiene lugar con frecuencia, precisa atención médica. En el diagnóstico clínico se clasifican las arritmias como:

1. Alteraciones de la frecuencia cardíaca, con funcionamiento normal del nódulo y del sistema de conducción. Estos trastornos, que habitualmente indican una función anormal en el nódulo SA y las aurículas, a menudo no son dañinos y pueden pasar desapercibidos.
2. Un origen o distribución anormales del potencial de acción cardíaco dentro de los ventrículos. Estos trastornos son peligrosos y potencialmente mortales.

Alteraciones del ritmo cardíaco

Suele definirse la **taquicardia** como un ritmo cardíaco de más de 100 latidos por minuto. En determinadas situaciones, como durante el ejercicio, en situación de excitación, la taquicardia es bastante normal. Sin embargo, la taquicardia crónica, incluso de reposo, indica una actividad anormal del marcapasos cardíaco. Este tipo de arritmia aumenta la carga de trabajo del corazón. La actividad cardíaca sufre a frecuencias cardíacas muy elevadas, porque los ventrículos no tienen tiempo suficiente para rellenarse de sangre antes de que se produzca la siguiente contracción. Las situaciones puntuales de taquicardia crónica o aguda pueden ser controladas mediante fármacos que afectan a la permeabilidad de las membranas del marcapasos o bloquean los efectos de la estimulación simpática.

En la **taquicardia auricular paroxística (TAP)**, una extrasístole auricular desencadena una actividad auricular agitada. Los ventrículos aún son capaces de mantenerse en calma, y la frecuencia cardíaca se eleva a aproximadamente 180 latidos por minuto. En el **flúter o aleteo auricular,** las aurículas se contraen de forma coordinada, pero las contracciones se producen con mucha frecuencia. Durante una crisis de **fibrilación auricular** los impulsos se mueven sobre la superficie auricular a frecuencias que pueden alcanzar incluso 500 latidos por minuto. La pared auricular tiembla en vez de producir una contracción organizada. La frecuencia ventricular en el flutter auricular o la fibrilación auricular no puede seguir la frecuencia auricular y puede mantenerse dentro de los límites normales. A pesar de que las aurículas se pueden considerar no funcionantes, esta situación puede pasar desapercibida, especialmente en pacientes de edad avanzada que llevan vida sedentaria. En la fibrilación auricular crónica se pueden formar coágulos sanguíneos cerca de las paredes auriculares. Partes del trombo pueden desprenderse, dando lugar a émbolos y aumentando el riesgo de un accidente cerebrovascular. Como resultado, la mayoría de las personas a las que se diagnostica este cuadro reciben tratamiento anticoagulante. Las ESA, la TAP, el flúter auricular e incluso la fibrilación auricular no son considerados muy peligrosos, a no ser que se prolonguen o se asocien con algunas otras indicaciones más graves de lesión cardíaca, como enfermedades de las arterias coronarias o problemas valvulares.

Origen o conducción de impulsos anormales

Estas condiciones ocasionan una actividad ventricular anormal, lo cual afecta directamente al gasto cardíaco. Muchas de estas arritmias son potencialmente mortales. Como el sistema de conducción funciona sólo en una dirección, de aurículas o ventrículos, las arritmias ventriculares no están asociadas a actividades auriculares. Se producen **extrasístoles ventriculares (ESV)** cuando una célula de Purkinje o célula del miocardio ventricular se despolarizan hasta el umbral y desencadenan una contracción prematura. La célula responsable del desencadenamiento de la contracción es conocida como un *marcapasos ectópico*. La frecuencia de las ESV puede aumentar por una exposición a adrenalina, a otros fármacos estimulantes o a cambios iónicos que despolarizan las membranas celulares del músculo cardíaco. La contracción ventricular anormal es intensa y tras cada latido anormal se produce una pausa antes del siguiente latido. Las ESV aisladas son frecuentes y no peligrosas, pero pueden resultar molestas si tienen lugar con la suficiente frecuencia como para que la persona comience a notarlas.

La actividad de marcapasos ectópico, potencialmente aumentada por factores medioambientales, es probablemente responsable de períodos de **taquicardia ventricular** (definida como cuatro o más ESV sin la intervención de latidos normales). Esta condición también es conocida como **TV** o *Taq-V*. CVP y TV preceden a menudo a una arritmia más grave, la **fibrilación ventricular (FV).** Durante la fibrilación ventricular, las células musculares cardíacas son abiertamente sensibles a la estimulación, y los impulsos viajan de célula a célula, alrededor continuamente de las paredes ventriculares. No se puede establecer un ritmo normal, porque las células musculares ventriculares se estimulan entre sí a un ritmo muy rápido. Si no se trata, se produce la muerte en minutos; a esta situación se la conoce habitualmente como *parada cardíaca*.

Marcapasos artificiales

Suele definirse la **bradicardia** como una frecuencia cardíaca inferior a 50 latidos por minuto. Igual que sucede en el caso de la taquicardia, la bradicardia en ciertas condiciones (sueño profundo, por ejemplo) no es anormal. Sin embargo, una bradicardia crónica indica que el corazón es incapaz de responder a las órdenes de aumento del gasto cardíaco; cuando la necesidad corporal de oxígeno aumenta, el corazón no responde con un mayor trabajo. Los síntomas de una bradicardia grave incluyen debilidad, fatiga, desmayos y confusión. Los tratamientos farmacológicos raramente son útiles, pero se pueden utilizar marcapasos artificiales con un éxito considerable. Se dirigen unos cables hacia la aurícula, los ventrículos o ambos, en función de la naturaleza del problema, y una unidad descarga pequeños impulsos eléctricos para estimular el miocardio. Los marcapasos internos se implantan con cirugía, incluyendo las baterías (**v. figura 21.12**). Estas unidades duran 7 u 8 años o más antes de que se requiera otra intervención para cambiar la batería.

Se han realizado grandes avances técnicos con los marcapasos artificiales en los últimos 10-15 años. Los marcapasos modernos mejoran la calidad de vida de los pacientes al realizar diferentes funciones bajo condiciones concretas, gracias a la introducción de microprocesadores. Los nuevos marcapasos «inteligentes», más sofisticados, estimulan las aurículas y ventrículos secuencialmente y pueden variar el grado de estimulación para ajustarse a las demandas circulatorias cambiantes, por ejemplo durante el ejercicio. Otros son capaces de monitorizar la actividad cardíaca y responder siempre que el corazón comience a funcionar anormalmente.

Un tipo de marcapasos inteligente se le implantó al vicepresidente Cheney durante el ejercicio de su cargo. Este marcapasos inteligente es un cardioversor/desfibrilador implantable automático, al que se conoce habitualmente como CDIA. Un CDIA es un dispositivo que monitoriza continuamente el ritmo cardíaco del corazón del paciente. Si el CDIA detecta un ritmo cardíaco anormalmente rápido, automáticamente controlará

Nota clínica *(cont.)*

eléctricamente el corazón e intentará reducir la frecuencia cardíaca del paciente. Si el ritmo cardíaco anormal se mantiene, el CDIA descargará un pequeño choque eléctrico en un intento por recuperar un ritmo cardíaco normal. El paciente raramente nota cómo el CDIA está controlando rápidamente el corazón en un intento por devolver el ritmo cardíaco a lo normal. Sin embargo, si se utiliza el choque eléctrico, se siente una fuerte descarga en el tórax. Se utiliza normalmente el dispositivo para el tratamiento instantáneo de ritmos cardíacos con riesgo vital (p. ej., taquicardia ventricular y fibrilación ventricular) que no pueden esperar para su tratamiento hasta la llegada de una ambulancia.

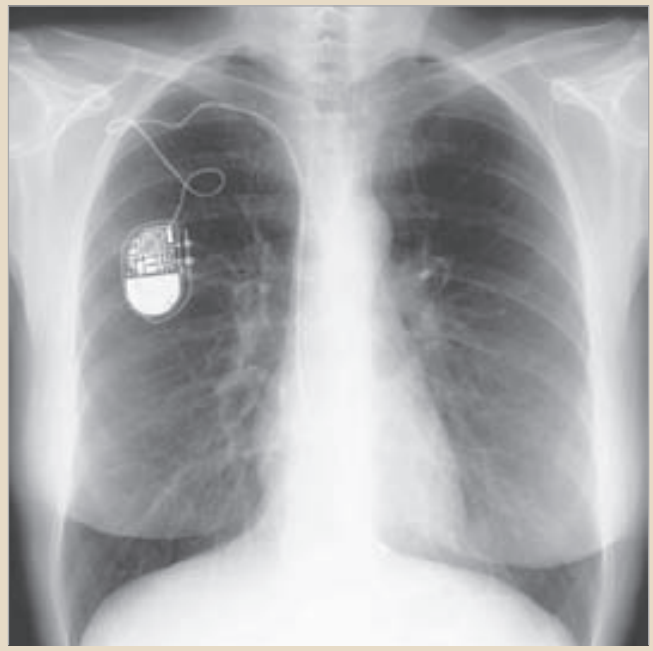


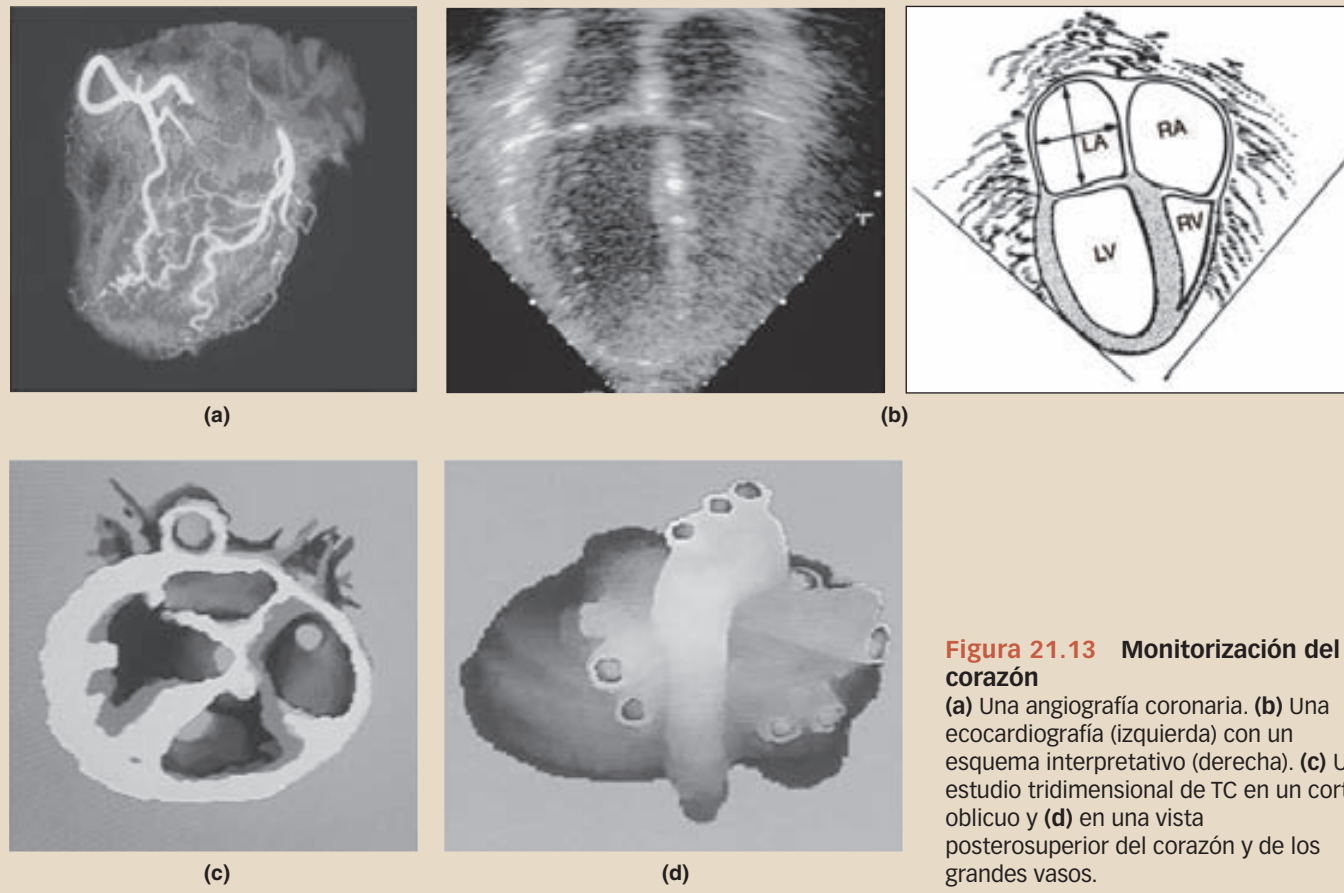
Figura 21.12 **Marcapasos artificial**

Un desfibrilador externo tiene dos electrodos que se ponen en contacto con el tórax y con él se administra un potente choque eléctrico. El estímulo eléctrico despolariza todo el miocardio simultáneamente. Con suerte, tras la repolarización, el nódulo SA será la primera zona del corazón que alcance el umbral. Por tanto, el objetivo primario de la desfibrilación no sólo es detener la fibrilación, sino dar a los ventrículos la oportunidad de responder a las órdenes SA normales.

Una desfibrilación precoz puede producir la recuperación espectacular de la víctima de una parada cardiorrespiratoria inconsciente. Los desfibriladores externos automáticos (DEA) se utilizan con facilidad, dispositivos portátiles que pueden detectar ritmos ventriculares letales en pacientes que han sufrido un colapso y a los que se les ha administrado un choque desfibrilador. Estos dispositivos están siendo cada vez más distribuidos en aviones, aeropuertos y otras áreas públicas.

Infarto de miocardio

En el **infarto de miocardio (IM)** o *parada cardíaca*, la circulación coronaria se bloquea y las células musculares cardíacas mueren por falta de oxígeno. El tejido afectado degenera entonces, creando un área no funcional conocida como un *infarto*. Los ataques cardíacos se deben más a menudo a enfermedad arterial coronaria grave. Las consecuencias dependen de la localización y naturaleza del bloqueo circulatorio. Si se produce cerca de la base de una de las arterias coronarias, la lesión será generalizada y el corazón dejará probablemente de latir. Si el bloqueo afecta a una de las



(a) (b) (c) (d)

Figura 21.13 **Monitorización del corazón**
(a) Una angiografía coronaria. **(b)** Una ecocardiografía (izquierda) con un esquema interpretativo (derecha). **(c)** Un estudio tridimensional de TC en un corte oblicuo y **(d)** en una vista posterosuperior del corazón y de los grandes vasos.

Nota clínica *(cont.)*

ramas arteriales más pequeñas, el individuo puede superar la crisis inmediata, pero existen múltiples complicaciones potenciales, todas ellas poco agradables. A medida que se forma tejido cicatricial en el área dañada, el latido cardíaco puede volverse irregular y menos efectivo como una bomba, y otros vasos pueden verse ocluidos, lo que crea problemas cardiovasculares adicionales como la angina.

Las infartos de miocardio se asocian más frecuentemente a bloqueos fijos, tales como los que se aprecian en la EAC. Cuando la crisis se produce a causa de la formación de un trombo (coágulo fijo) sobre una placa, esta enfermedad se conoce como **trombosis coronaria.** Un vaso ya estenosado por la formación de una placa también puede verse ocluido por un espasmo repentino del músculo liso de la pared vascular. El paciente sufre entonces un dolor intenso similar a un ataque de angina, pero que persiste incluso en reposo.

Aproximadamente el 25% de los pacientes con un IM fallecen antes de recibir asistencia médica, y el 65% de los fallecimientos por IM entre personas de menos de 50 años de edad se producen en la primera hora posterior al infarto inicial. Los objetivos del tratamiento son limitar el tamaño del infarto y evitar complicaciones adicionales al evitar contracciones irregulares, mejorar la circulación con vasodilatadores, proporcionar oxígeno adicional, reducir la carga de trabajo cardíaca y, si es posible, eliminar la causa de la obstrucción circulatoria. Los anticoagulantes ayudan a impedir la formación de trombos adicionales. Resulta de ayuda tomar ácido acetilsalicílico precozmente en el curso del IM, mientras que las enzimas para disolver coágulos pueden reducir la extensión de la lesión si se las administra dentro de las 6 horas posteriores a la aparición de un IM.

Cada año se producen unos 1,3 millones de IM en EE. UU. y la mitad de las víctimas fallecen en el primer año posterior al suceso. Se han identificado varios factores que aumentan el riesgo de un ataque cardíaco. Entre ellos se incluyen el tabaquismo, la hipertensión arterial, la hipercolesterolemia, la diabetes y la obesidad. También hay factores hereditarios que pueden predisponer a los individuos a una enfermedad arterial coronaria. La presencia de dos factores de riesgo incrementa el riesgo más del doble, de forma que la eliminación de cuantos factores de riesgo sea posible mejorará las probabilidades de evitar o sobrevivir a un ataque cardíaco. Por ejemplo, un cambio de los hábitos alimentarios para limitar el colesterol en la dieta, el ejercicio para disminuir el peso y la búsqueda de tratamiento para la hipertensión arterial son pasos relativamente fáciles en la dirección correcta, y sus beneficios resultan considerables.

Pueden utilizarse muchas técnicas para examinar la estructura y la actuación del corazón (**v. figura 21.13**). Ningún procedimiento diagnóstico aislado proporciona una visión completa, de forma que la prueba utilizada variará con la naturaleza sospechada del problema.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si las células del nódulo SA no estuvieran funcionando, ¿qué efecto tendría esto sobre la frecuencia cardíaca?
2. Si se libera noradrenalina en el corazón, ¿cuál es el efecto sobre la frecuencia cardíaca?
1. ¿Cómo coordinan las células nodulares las contracciones del músculo cardíaco?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Electrocardiograma (ECG)

[v. figura 21.14]

Los acontecimientos eléctricos asociados a la despolarización y la repolarización del corazón son lo suficientemente intensos como para ser detectados por electrodos colocados en la superficie corporal. El registro de estas actividades eléctricas constituye el **electrocardiograma,** también llamado **ECG.** Durante cada ciclo cardíaco, una onda de despolarización se irradia a través de las aurículas, alcanza el nódulo AV, se extiende a lo largo del tabique interventricular hasta el vértice, gira y se extiende a través del miocardio ventricular hacia la base (**v. figura 21.14**). Esta actividad eléctrica puede ser monitorizada desde la superficie corporal. Comparando la información obtenida a partir de electrodos situados en diferentes localizaciones, se puede monitorizar la actuación de componentes nodulares, de conducción y contráctiles concretos. Por ejemplo, cuando se ha lesionado una parte del corazón, como después de un IM, estas células musculares cardíacas no pueden conducir más potenciales de acción, de forma que el ECG pondrá de manifiesto un patrón anormal de conducción eléctrica.

El aspecto del trazado ECG varía en función de la situación de los electrodos de monitorización, o *electrodos*. En la **figura 21.14** se muestran rasgos importantes de una representación electrocardiográfica. La **onda P** acompaña a la despolarización de las aurículas. El **complejo QRS** aparece a medida que se despolarizan los ventrículos. Esta señal eléctrica es relativamente intensa porque la masa del músculo ventricular es mucho mayor que la del auricular. La **onda T** de menor tamaño indica la repolarización. ventricular. No se aprecia una deflexión correspondiente a la repolarización auricular porque esta se produce mientras los ventrículos se están despolarizando y los acontecimientos eléctricos quedan enmascarados por el complejo QRS.

El análisis del ECG suele centrarse en el tamaño y la duración de la onda P, el complejo QRS y el segmento ST (entre el QRS y la onda T). Por ejemplo, una señal eléctrica menor de lo normal puede significar que la masa del músculo cardíaco ha disminuido; por el contrario, unas señales excesivamente amplias pueden significar que ha aumentado el músculo cardíaco. Los cambios en el tamaño y la forma de la onda T pueden indicar una condición que reduzca la velocidad de la repolarización ventricular.

A pesar de la variedad de equipamiento sofisticado disponible para evaluar o visualizar la función cardíaca, en la amplia mayoría de los casos el electrocardiograma aporta la primera y más importante información diagnóstica. El análisis del ECG resulta especialmente útil a la hora de detectar y diagnosticar *arritmias cardíacas,* patrones anormales de actividad cardíaca. Aparecen problemas clínicos cuando las arritmias reducen la eficacia como bomba del corazón. Una arritmia grave puede indicar lesión de la musculatura miocárdica, lesión de los marcapasos o de las vías de conducción u otros factores.

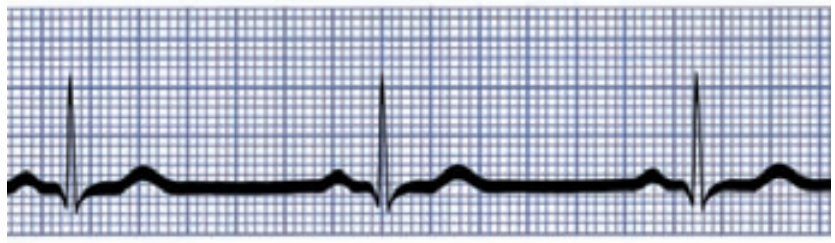
Control autónomo de la frecuencia cardíaca

[v. figura 21.15]

La frecuencia cardíaca básica viene establecida por las células marcapasos del nódulo SA, pero esta frecuencia intrínseca puede verse modificada por el sistema nervioso autónomo (SNA). Las divisiones simpática y parasimpática del SNA proporcionan inervación al corazón a través del plexo cardíaco (los detalles anatómicos se exponen en el capítulo 17) [p. 464]. Ambas divisiones del SNA inervan los nódulos SA y AV así como las células musculares cardíacas auriculares y ventriculares y el músculo liso de las paredes de los vasos sanguíneos cardíacos (**v. figura 21.15**).

Los efectos de la NA y la ACh sobre los tejidos nodulares fueron detallados anteriormente en este capítulo, y pueden resumirse de la siguiente manera:

- La liberación de NA produce una aumento tanto de la frecuencia cardíaca como de la fuerza de las contracciones a través de la estimulación de los receptores beta de las células nodulares y contráctiles.



Tira de ECG

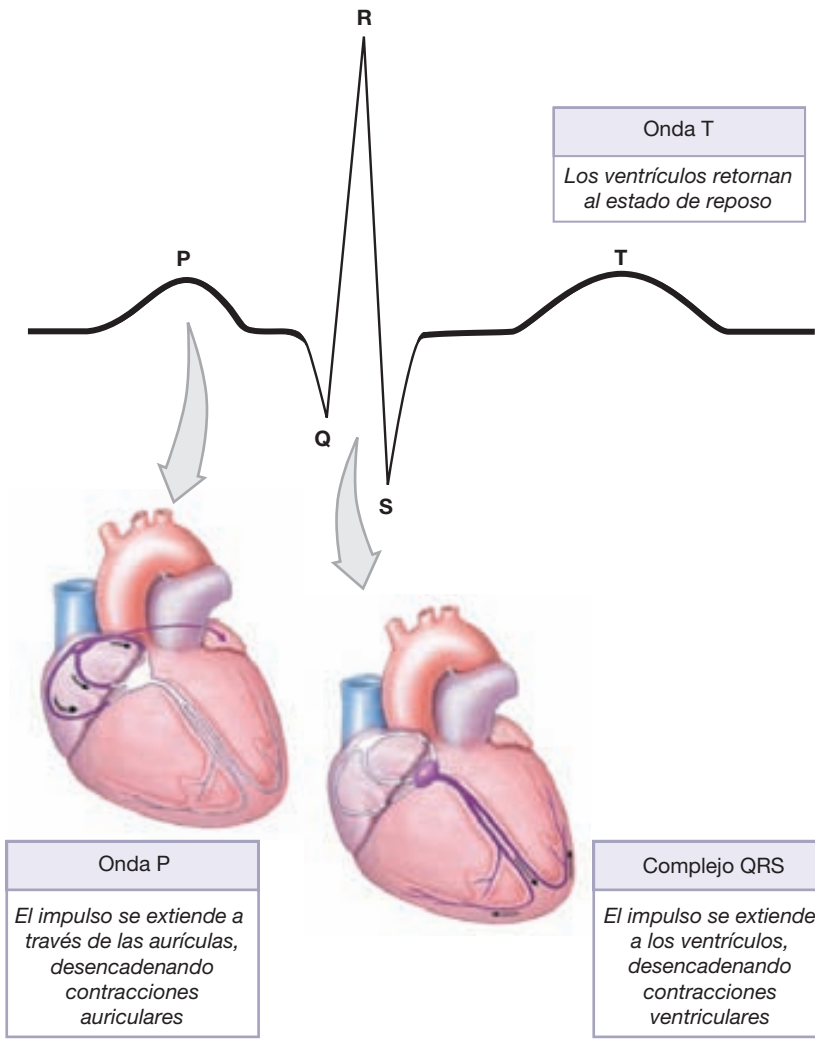


Figura 21.14 **Electrocardiograma**
Un registro ECG es una tira de papel milimetrado que contiene un registro de los acontecimientos eléctricos monitorizados por electrodos fijados a la superficie corporal. La fotografía muestra la localización de los electrodos para un ECG estándar. La sección ampliada indica los principales componentes del ECG.

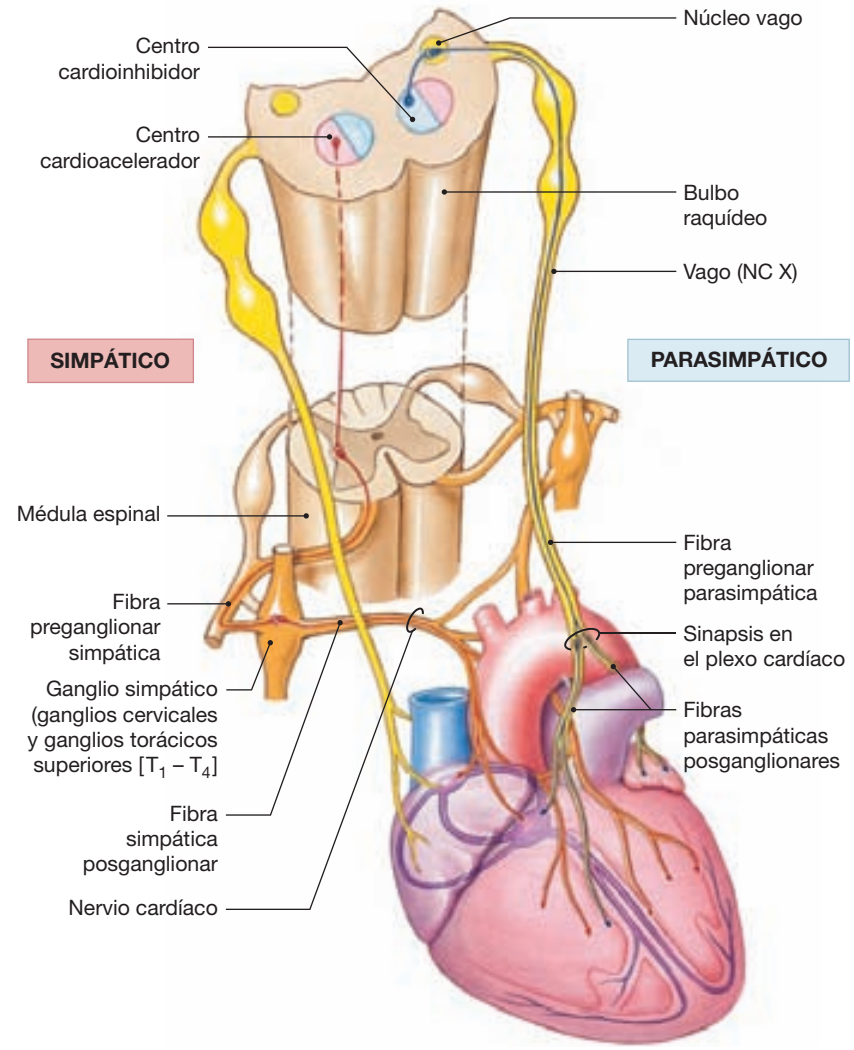


Figura 21.15 **Inervación autónoma del corazón**
Los centros cardíacos en el bulbo raquídeo modifican la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco a través del nervio vago (parasimpático) y los nervios cardíacos (simpáticos).

- La liberación de ACh produce una disminución tanto de la frecuencia cardíaca como de la fuerza de las contracciones a través de la estimulación de los receptores muscarínicos de las células nodales y contráctiles.

Los centros cardíacos del bulbo raquídeo contienen los centros autónomos para el control cardíaco. La estimulación del **centro cardioacelerador** activa las neuronas simpáticas necesarias; el adyacente **centro cardioinhibidor** gobierna las actividades de las neuronas parasimpáticas. Los centros cardíacos reciben impulsos de centros superiores, sobre todo de los centros parasimpáticos y simpáticos del hipotálamo. Estos centros fueron descritos en el capítulo 15 [p. 406].

La información relativa al estado del aparato cardiovascular llega a los centros cardíacos a partir de fibras sensitivas viscerales que controlan barorreceptores sensibles a la presión sanguínea y quimiorreceptores sensibles a las concentraciones de gases disueltos. Estos receptores están inervados por los nervios glosofaríngeo (NC IX) y vago (NC X). En respuesta a esta información, los centros cardíacos ajustan la función cardíaca para mantener una circulación adecuada hacia los órganos vitales, tales como el cerebro. Estos centros responden muy rápidamente a cambios en la presión sanguínea y de la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono disueltos en la sangre arterial. Por ejemplo, una caída de la presión sanguínea o una elevación de la concentración de dióxido de carbono suelen indicar que el corazón debe trabajar más para cubrir las demandas de los tejidos periféricos. Los centros cardíacos responden entonces elevando la frecuencia cardíaca y la fuerza de la contracción al activar el sistema nervioso simpático.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si la presión en el ventrículo permaneciera igual a la de la aurícula, ¿qué sucedería con el flujo sanguíneo?
2. Las ramas simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo tienen efectos diferentes sobre los tejidos nodulares del corazón. ¿Cuáles son estos efectos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

TÉRMINOS CLÍNICOS

angina pectoris: Situación en la cual el ejercicio o el estrés pueden producir un dolor torácico intenso, como consecuencia de una insuficiencia circulatoria e isquemia temporales cuando la carga de trabajo del corazón aumenta.

arritmias cardíacas: Patrones anormales de contracción cardíaca.

bradicardia: Ritmo cardíaco más lento del normal.

cardiopatía reumática (CR): Trastorno en el cual las válvulas cardíacas se engruesan y se vuelven rígidas en una posición de cierre parcial, lo que afecta a la eficiencia de la acción de bomba del corazón.

carditis: Término genérico que indica inflamación del corazón.

enfermedad arterial coronaria (EAC): Cambios degenerativos en la circulación coronaria.

estenosis valvular: Trastorno en el cual el agujero de las válvulas cardíacas es menor de lo normal.

infarto de miocardio (IM): Enfermedad en la que la circulación coronaria se ocluye y las células musculares cardíacas mueren por falta de oxígeno; también se conoce como ataque cardíaco.

insuficiencia cardíaca: Proceso en el cual el corazón se debilita y los tejidos periféricos sufren una privación de oxígeno y nutrientes.

miocardiopatías: Grupo de enfermedades que se caracteriza por una degeneración irreversible progresiva del miocardio.

prolapso de la válvula mitral: Condición en la que las cúspides de la válvula mitral no cierran adecuadamente debido a unas cuerdas tendinosas anormalmente largas (o cortas) o a un mal funcionamiento de los músculos papilares.

taponamiento cardíaco: Situación que se debe a la irritación e inflamación del pericardio, en la cual se acumula líquido en el saco pericárdico y se restringe el gasto cardíaco.

taquicardia: Ritmo cardíaco más rápido de lo normal.

tono cardíaco: Sonido de circulación, gorgoteo producido por la regurgitación de sangre de retorno a través de válvulas cardíacas dañadas.

trombosis coronaria: Oclusión debida a la formación de un coágulo (trombo) sobre una placa de una arteria coronaria.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 548

1. Todos los tejidos y líquidos del cuerpo precisan del aparato cardiovascular para mantener la homeostasis. El funcionamiento adecuado del aparato cardiovascular depende de la actividad del corazón, el cual puede modificar su capacidad impulsora en función de las necesidades de los tejidos periféricos.

Visión global del aparato cardiovascular 548

1. Se puede subdividir el aparato cardiovascular en dos circuitos cerrados que trabajan en serie. Cada circuito funciona individualmente en serie, mientras que los dos circuitos funcionan conjuntamente en paralelo. El **circuito pulmonar** transporta sangre pobre en oxígeno desde el corazón a los pulmones y retorno posterior, mientras que el **circuito sistémico** transporta sangre rica en oxígeno desde el corazón al resto del cuerpo y retorno posterior. Las **arterias** alejan la sangre del corazón; las **venas** retornan la sangre al corazón. Los **capilares** son pequeños vasos entre las arterias y venas más pequeñas *(v. figura 21.1)*.
2. El corazón consta de cuatro cámaras: la **aurícula** y **ventrículo derechos** y la **aurícula** y **ventrículo izquierdos.** Las aurículas recogen la sangre que vuelve al corazón y los ventrículos bombean la sangre que deja el corazón hacia los vasos.

Pericardio 458

1. El corazón está rodeado por la **cavidad pericárdica**, la cual está tapizada por el **pericardio** y contiene una pequeña cantidad de líquido lubricante, llamado **líquido pericárdico.** El **pericardio visceral (epicardio)** cubre la superficie externa del corazón, mientras que el **pericardio parietal** tapiza la superficie interna del saco pericárdico que rodea al corazón. El corazón está situado en una posición anterior en el **mediastino** *(v. figura 21.2)*.

Estructura de la pared cardíaca 550

1. La pared cardíaca consta de tres capas: el **epicardio** (el pericardio visceral), el **miocardio** (la pared muscular del corazón), y el **endocardio** (el epitelio que tapiza las superficies internas del corazón) *(v. figura 21.3)*.

Tejido muscular cardíaco 550

2. El grueso del corazón lo constituye el miocardio muscular. Las células musculares cardíacas **(cardiocitos),** que son menores que las células musculares estriadas, son casi totalmente dependientes de la respiración aerobia *(v. figura 21.3)*.
3. Los cardiocitos están interconectados por **discos intercalares,** que tanto transmiten la fuerza de contracción de célula a célula como conducen los potenciales de acción. Los discos intercalares unen las células musculares cardíacas a través de desmosomas, miofibrillas y uniones en hendidura. Como las células musculares cardíacas están unidas de esta forma, función como una gran célula única enorme *(v. figura 21.3d,e)*.

Esqueleto fibroso 550

4. Al tejido conjuntivo interno del corazón se le denomina **esqueleto fibroso** *(v. figuras 21.3b/21.7)*.
5. El esqueleto fibroso del corazón funciona para estabilizar las células contráctiles y las válvulas cardíacas; mantener las células musculares, los vasos sanguíneos y los nervios; distribuir las fuerzas de contracción; añadir fuerza y elasticidad; y aislar físicamente las aurículas de los ventrículos.

Orientación y anatomía superficial del corazón 552

1. La división del corazón en cuatro cámaras genera referencias externas que son visibles como canales o surcos en la superficie del corazón. El *surco interauricular* separa las dos aurículas, mientras que el **surco coronario** separa las aurículas de los ventrículos.
2. La **orejuela** (apéndice auricular) es una extensión expansible de la aurícula. El surco coronario es el surco profundo entre las aurículas y los ventrículos. Otras depresiones menos pronunciadas incluyen el **surco interventricular anterior** y el **surco interventricular posterior.**
3. Los grandes vasos están conectados a la parte superior del corazón en la **base**. El vértice inferior afilado del corazón es el **vértice** *(v. figuras 21.2b/21.4)*.
4. El corazón forma un ángulo con el eje longitudinal del cuerpo y presenta los bordes siguientes: **superior**, **inferior**, **izquierdo** y **derecho** *(v. figura 21.4)*.

5. El corazón tiene las siguientes superficies: la **superficie esternocostal** está formada por las superficies anteriores de la aurícula y el ventrículo derechos; la **superficie diafragmática** está formada primariamente por las pared posterior, inferior del ventrículo izquierdo *(v. figura 21.5)*.

Anatomía interna y organización del corazón 554

1. Las aurículas están separadas por el **tabique interauricular**, y los ventrículos están divididos por el **tabique interventricular**. Las aperturas entre las aurículas y los ventrículos contienen pliegues de tejido conjuntivo cubiertos por endocardio; estas válvulas mantienen un flujo sanguíneo unidireccional *(v. figura 21.6)*.

Aurícula derecha 554

2. La aurícula derecha recibe sangre del circuito sistémico a través de dos grandes venas, la **vena cava superior** y la **vena cava inferior.** Las paredes auriculares contienen crestas musculares prominentes, los **músculos pectíneos.** Las venas coronarias retornan la sangre al seno coronario, que desemboca en la aurícula derecha. Durante el desarrollo embrionario, hay un orificio denominado **foramen oval** en el tabique interauricular. Este orificio se cierra tras el nacimiento, dejando una depresión llamada **fosa oval** *(v. figura 21.6)*.

Ventrículo derecho 554

3. La sangre fluye desde la aurícula derecha al ventrículo derecho a través de la **válvula auriculoventricular (AV) derecha** o *válvula tricúspide*. (Esta válvula consta de tres cúspides de tejido fibroso sostenidas por las cuerdas tendinosas que están conectadas a los músculos papilares) *(v. figura 21.6)*.
4. La sangre que sale del ventrículo derecho entra en el **tronco de la pulmonar** tras pasar por la válvula pulmonar. El tronco de la pulmonar se divide en las **arterias pulmonares izquierda y derecha** *(v. figura 21.6)*.

Aurícula izquierda 556

5. La aurícula izquierda recibe sangre oxigenada de las **venas pulmonares izquierda y derecha;** tiene paredes más gruesas que las de la aurícula derecha *(v. figura 21.6a,c)*.
6. La sangre que sale de la aurícula izquierda se dirige al ventrículo izquierdo a través de la **válvula auriculoventricular (AV) izquierda** *(válvula mitral o bicúspide)*.

Ventrículo izquierdo 556

7. El ventrículo izquierdo es la mayor y más gruesa de las cuatro cámaras porque debe bombear sangre a todo el cuerpo. La sangre que sale del ventrículo izquierdo pasa a través de la **válvula aórtica** y entra en el circuito sistémico a través de la **aorta ascendente.** La sangre atraviesa la aorta ascendente, el **cayado aórtico** y entra en la **aorta descendente** *(v. figura 21.6a,c)*.

Diferencias estructurales entre los ventrículos izquierdo y derecho 556

8. El ventrículo derecho presenta paredes finas y desarrolla una presión baja para impulsar sangre al circuito pulmonar hacia y desde los pulmones adyacentes. Funcionalmente, la presión baja resulta necesaria porque los capilares pulmonares en las superficies de intercambio gaseoso de los pulmones son muy delicados. El ventrículo tiene una pared gruesa porque impulsa la sangre a través del circuito sistémico. En la *figura 21.6* se muestran las diferencias anatómicas entre los ventrículos izquierdo y derecho.

Estructura y funcionamiento de las válvulas cardíacas 556

9. Las válvulas AV tienen cuatro componentes: 1) un anillo de tejido conjuntivo unido al esqueleto fibroso del corazón; 2) cúspides; 3) cuerdas tendinosas, y 4) músculos papilares.
10. Hay dos válvulas semilunares, la **válvula aórtica** y la **válvula pulmonar,** las cuales guardan las salidas de los ventrículos izquierdo y derecho *(v. figuras 21.6 y 21.7)*.
11. Las válvulas permiten normalmente el flujo sólo en una dirección, lo que evita la **regurgitación** (retorno) de la sangre.

Vasos sanguíneos coronarios 558

12. La **circulación coronaria** aporta la sangre para los músculos del corazón con el fin de satisfacer las elevadas demandas de oxígeno y nutrientes de las células musculares cardíacas. Las **arterias coronarias** se originan en la base de la aorta ascendente, y cada una da origen a dos ramas. La **arteria coronaria derecha** da origen tanto a la **rama marginal derecha** como a la **rama interventricular posterior.** La **arteria coronaria izquierda** da origen tanto a la **rama circunfleja** como a la **rama interventricular anterior.** Las interconexiones entre las arterias llamadas **anastomosis** aseguran un flujo constante de sangre.
13. Las **venas cardíacas mayor** y **media** llevan la sangre desde los capilares coronarios al *seno coronario (v. figura 21.8)*.
14. Otras venas cardíacas que desembocan en la gran vena cardíaca o en el seno coronario son la **vena posterior del ventrículo izquierdo,** que drena las áreas nutridas por la rama circunfleja de la ACI; la **vena cardíaca media,** que drena las áreas irrigadas por la rama interventricular posterior de la ACI; y la **vena cardíaca menor,** que drena la sangre de las superficies posteriores de la aurícula y ventrículo derechos.
15. Las **venas cardíacas anteriores** drenan la superficie anterior del ventrículo derecho y desembocan directamente en la aurícula derecha.

Ciclo cardíaco 561

1. El **ciclo cardíaco** consta de períodos de **sístole auricular** y **ventricular** (contracción) y de **diástole auricular** y **ventricular** (relajación/llenado) *(v. figura 21.10)*.

Coordinación de las contracciones cardíacas 561

2. El tejido muscular cardíaco se contrae por sí solo, sin estimulación nerviosa u hormonal. A esto se le llama automaticidad o autorritmicidad.
3. Las **células nodulares** establecen el ritmo de la contracción cardíaca, mientras que las **fibras de conducción** distribuyen el estímulo contráctil a todo el miocardio *(v. figura 21.11)*.

Nódulos sinoauricular y auriculoventricular 562

4. Las células nodulares se despolarizan espontáneamente y determinan la frecuencia cardíaca
5. Las **células marcapasos** que se encuentran en el **nódulo sinoauricular (SA) (marcapasos cardíaco)** establecen normalmente la frecuencia de contracción. *(v. figura 21.11)*.
6. Desde el nódulo SA, el estímulo viaja a través de las **conexiones internodulares** hasta el **nódulo auriculoventricular (AV),** posteriormente por el **haz AV,** el cual se divide en **ramas izquierda y derecha del haz.** Desde allí las **células de Purkinje** transmiten los impulsos al miocardio ventricular *(v. figura 21.11)*.

Electrocardiograma (ECG) 566

1. El electrocardiograma (ECG) es un registro de las actividades eléctricas del corazón. Referencias importantes en un ECG incluyen la onda P (despolarización auricular), el complejo QRS (despolarización ventricular) y la onda T (repolarización ventricular). El análisis del ECG puede detectar arritmias cardíacas, que son patrones anormales de actividad cardíaca *(v. figura 21.14)*.

Control autónomo de la frecuencia cardíaca 566

2. La frecuencia cardíaca básica viene determinada por las células marcapasos, pero puede verse modificada por el SNA. La noradrenalina produce una aumento de la frecuencia cardíaca y de la fuerza de contracción, mientras que la acetilcolina produce una disminución de la frecuencia cardíaca y de la contracción
3. El **centro cardioacelerador** del bulbo raquídeo activa neuronas simpáticas; el **centro cardioinhibidor** gobierna las actividades de las neuronas parasimpáticas. Los centros cardíacos reciben información de centros superiores y de receptores para la monitorización de la presión sanguínea y de las concentraciones de gases disueltos en sangre *(v. figura 21.15)*.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. cardiocitos	a. vena hacia la aurícula izquierda
___ 2. bradicardia	b. cubre la superficie externa del corazón
___ 3. diástole	c. aporta sangre al músculo cardíaco
___ 4. circulación coronaria	d. tapiza la superficie interna del saco pericárdico
___ 5. pericardio visceral	e. reduce la frecuencia cardíaca
___ 6. sístole	f. células musculares cardíacas
___ 7. miocardio	g. pared muscular del corazón
___ 8. vena pulmonar derecha	h. fase de relajación del ciclo cardíaco
___ 9. vena cava superior	i. vena a la aurícula derecha
___10. pericardio parietal	j. fase de contracción del ciclo cardíaco

11. El corazón está situado en:
    (a) cavidad pleural (b) cavidad peritoneal
    (c) cavidad abdominopélvica (d) cavidad pericárdica

12. La válvula auriculoventricular que está localizada en el lado del corazón que recibe sangre de la vena cava superior es la:
    (a) válvula mitral (b) válvula bicúspide
    (c) válvula tricúspide (d) válvula aórtica

13. Las funciones del pericardio fibroso incluyen:
    (a) devolver la sangre a las aurículas
    (b) bombear la sangre a la circulación
    (c) fijar el corazón a estructuras circundantes
    (d) proporcionar flujo sanguíneo al miocardio

14. Todas las siguientes sobre los discos intercalares son ciertas, excepto:
    (a) proporcionan fuerza adicional a células unidas entre sí por uniones estrechas
    (b) presentan una unión lisa entre los sarcolemas de células musculares apuestas
    (c) tienen las miofibrillas de las células musculares entrelazadas ancladas a la membrana
    (d) las fibras musculares cardíacas en los discos intercalares están conectadas por uniones en hendidura

15. El corazón está inervado por:
    (a) sólo nervios parasimpáticos
    (b) sólo nervios simpáticos
    (c) nervios tanto simpáticos como parasimpáticos
    (d) sólo nervios esplácnicos

16. Las células marcapasos del corazón se localizan en:
    (a) el nódulo SA
    (b) la pared del ventrículo izquierdo
    (c) las fibras de Purkinje
    (d) los ventrículos tanto derecho como izquierdo

17. Las fibras musculares de las aurículas están aisladas físicamente de las de los ventrículos:
    (a) por el epicardio
    (b) por el esqueleto fibroso del corazón
    (c) pero no eléctricamente, ya que todas se contraen exactamente a la vez
    (d) por los vasos sanguíneos coronarios

18. Las dos ramas principales de la arteria coronaria derecha son las:
    (a) rama circunfleja y rama marginal izquierda
    (b) rama interventricular anterior y rama descendente anterior izquierda
    (c) rama marginal derecha y rama interventricular posterior
    (d) venas cardíacas mayor y media

19. El análisis de los datos del ECG resulta útil para la detección y el diagnóstico de:
    (a) hipertensión
    (b) accidentes cerebrovasculares
    (c) arritmias cardíacas
    (d) todos los anteriores

20. La válvula mitral o bicúspide está localizada:
    (a) en la desembocadura de la aorta
    (b) entre la aurícula y el ventrículo izquierdos
    (c) entre la aurícula y el ventrículo derechos
    (d) en la desembocadura del tronco pulmonar

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Si se lesiona el nódulo sinoauricular, ¿qué sucederá con el latido cardíaco?
    (a) se generará en las ramas del haz, con un ritmo mucho menor
    (b) el corazón se parará
    (c) el nódulo auriculoventricular se hará cargo del ritmo, con una velocidad algo más lenta de lo normal
    (d) el latido cardíaco aumentará de ritmo, pero no de fuerza

2. Si los músculos papilares no se contraen bien:
    (a) la sangre no entrará en las aurículas
    (b) los ventrículos no bombearán sangre
    (c) las válvulas AV no se cerrarán adecuadamente
    (d) las válvulas semilunares no se abrirán

3. Si se lesiona la inervación simpática del corazón, ¿qué sucedería con la frecuencia cardíaca bajo la influencia de la estimulación del sistema nervioso autónomo restante?
    (a) aumentaría
    (b) no cambiaría
    (c) disminuiría
    (d) primero aumentaría y posteriormente se reduciría

4. ¿En qué se parece el músculo cardíaco al músculo estriado?

5. ¿Por qué carecen las válvulas semilunares de soportes como los que se encuentran en las válvulas AV?

6. Defina una célula marcapasos y enumere el grupo de células que normalmente sirve de marcapasos cardíaco y qué otras células pueden comportarse también como marcapasos.

7. ¿Cuál es la función del líquido pericárdico?

8. ¿Qué cámara cardíaca tiene las paredes más gruesas?¿Por qué son sus paredes tan gruesas?

9. ¿Por qué son únicas las células nodulares? ¿Cuál es su función?

10. ¿Cuál es el efecto de la liberación de NA sobre la función cardíaca?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Harvey presenta un ruido cardíaco en su ventrículo izquierdo como un «gorgoteo» fuerte al comienzo de la sístole, ¿cuál cree que puede ser la causa de este sonido?

2. Lee es llevado al servicio de urgencias de un hospital a causa de una arritmia cardíaca. En la sala de urgencias comienza a presentar taquicardia y como resultado pierde la conciencia. Su mujer le pregunta a usted por qué perdió la conciencia. ¿Qué le contestaría?

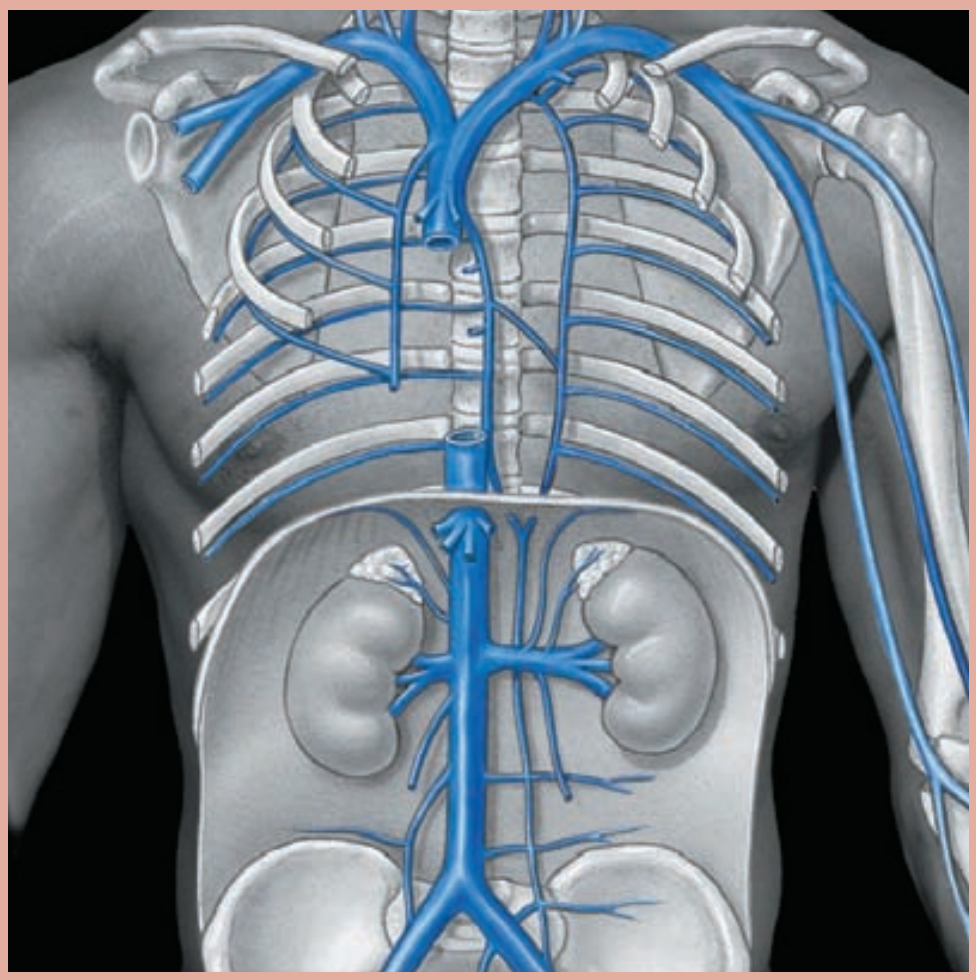
3. Si los centros cardíacos detectan abundancia de oxígeno en sangre, ¿qué sustancia química se liberará probablemente?

4. Si a un niño se le diagnostica fiebre reumática, ¿qué complicaciones puede temerse que aparezcan hasta incluso 10 o 20 años después?

22

Aparato cardiovascular

Vasos y circulación



Introducción 572

Organización histológica de los vasos sanguíneos 572

Distribución de los vasos sanguíneos 579

Cambios cardiovasculares en el nacimiento 599

Envejecimiento y aparato cardiovascular 603

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir la organización anatómica general de los vasos sanguíneos y su relación con el corazón.
2. Identificar y describir los diversos tipos de vasos sanguíneos según sus características histológicas.
3. Describir cómo la estructura histológica influye sobre el funcionamiento de cada tipo de vaso sanguíneo.
4. Describir la estructura, el funcionamiento y las características de permeabilidad de los capilares, los sinusoides y los lechos capilares.
5. Describir la estructura, el funcionamiento y la acción de las válvulas en las venas.
6. Explicar la distribución de la sangre en arterias, venas y capilares, y analizar el funcionamiento de los reservorios de sangre.
7. Identificar y describir los vasos del circuito pulmonar.
8. Identificar los vasos principales del circuito sistémico y las áreas y órganos irrigados por cada uno.
9. Elaborar un diagrama de las ramas arteriales de la cabeza, el cuello, el tórax, el abdomen y los miembros superiores e inferiores.
10. Describir los cambios cardiovasculares principales que tienen lugar en el nacimiento y explicar su significado funcional.
11. Comparar el patrón prenatal de flujo sanguíneo con el del lactante.
12. Describir los cambios relacionados con la edad en el aparato cardiovascular.

El aparato cardiovascular es un sistema cerrado por el que circula la sangre a lo largo del cuerpo. Hay dos grupos de vasos sanguíneos: uno irriga los pulmones *(el circuito pulmonar)* y el otro el resto del cuerpo *(el circuito sistémico)*. La sangre es impulsada por el corazón a los troncos tanto pulmonar como sistémico (aórtico) simultáneamente. El relativamente pequeño circuito pulmonar comienza en la válvula pulmonar y finaliza en la desembocadura en la aurícula izquierda. Las arterias pulmonares que se ramifican desde el tronco de la pulmonar transportan sangre a los pulmones para el intercambio gaseoso. El circuito sistémico comienza en la válvula aórtica y finaliza en la desembocadura a la aurícula derecha. Las arterias sistémicas se ramifican desde la aorta y distribuyen la sangre al resto de órganos para el intercambio de nutrientes, gases y productos de desecho. El tronco pulmonar y la aorta tienen cada uno un diámetro luminal de unos 2,5 cm. Estos vasos se ramifican para formar numerosos vasos menores que nutren regiones y órganos individuales.

Tras entrar en los órganos se producen ramificaciones adicionales, lo que da lugar a varios cientos de millones de minúsculas arterias que proporcionan la sangre a más de 10.000 millones de capilares cuyo diámetro apenas supera el de un solo eritrocito. Estos capilares forman extensas retículas ramificadas; se estima que la longitud combinada de todos los capilares del cuerpo (situados en línea) se encontraría entre 7.500 y 40.000 kilómetros. En otras palabras, los capilares de nuestro cuerpo podrían al menos cruzar el continente norteamericano y quizá dar la vuelta al mundo. Todo el intercambio químico y gaseoso entre la sangre y el líquido intersticial se produce a través de las paredes de los capilares. Las células tisulares dependen de la difusión capilar para obtener nutrientes y oxígeno y para eliminar los productos metabólicos de desecho. La sangre que abandona las redes capilares entra en una red de vénulas que convergen gradualmente para formar vasos mayores, los cuales al final desembocan bien en una de las venas pulmonares (circuito pulmonar) o bien en las venas cava superior o inferior (circuito sistémico).

Nuestra exposición inicial en este capítulo centrará su atención en la organización histológica y anatómica de las arterias, los capilares y las venas. Proseguiremos señalando los principales vasos sanguíneos y vías circulatorias del aparato cardiovascular.

Organización histológica de los vasos sanguíneos [v. figura 22.1]

Las paredes de las arterias y las venas contienen tres capas distintas: 1) una *íntima* interna; 2) una capa *media* central, y 3) una *adventicia* externa. Obsérvese la **figura 22.1** al mismo tiempo que procedemos a analizar la estructura histológica de arterias y venas.

- La **íntima** es la capa más interna del vaso sanguíneo. Esta capa incluye el revestimiento endotelial del vaso y la capa subyacente de tejido conjuntivo que contiene un número variable de fibras elásticas. En las arterias el margen externo de la íntima contiene una capa gruesa de fibras elásticas denominada **membrana elástica interna.** En las arterias de mayor calibre el tejido conjuntivo es más extenso y la íntima es más gruesa que en las arterias menores.
- La media es la capa intermedia y contiene capas concéntricas de tejido muscular liso en un entramado de tejido conjuntivo laxo. Las fibras musculares lisas de la media rodean la luz del vaso sanguíneo. Cuando son estimuladas por la actividad simpática, estos pequeños músculos se contraen y reducen el diámetro del vaso sanguíneo, un proceso llamado **vasoconstricción.** La relajación del músculo liso aumenta el diámetro de la luz, un proceso llamado **vasodilatación.** Este músculo liso puede contraerse o relajarse en respuesta a estímulos locales o bajo el control de la división simpática del SNA. Cualquier cambio resultante en el diámetro del vaso afecta tanto a la presión sanguínea como al flujo a través de los tejidos. Las fibras colágenas fijan la media tanto a la íntima como a la adventicia. Las arterias tienen una banda fina de fibras elásticas, la **membrana elástica externa,** localizada entre la media y la adventicia.
- La **adventicia** externa forma una vaina de tejido conjuntivo alrededor del vaso. Esta capa es muy gruesa y está compuesta principalmente por fibras colágenas, con bandas dispersas de fibras elásticas. Las fibras de la adventicia típicamente se mezclan con las de los tejidos adyacentes, estabilizando y fijando al vaso sanguíneo. En las venas, esta capa suele ser de mayor espesor que la media.

La pared en capas confiere a las arterias y venas una fuerza considerable. La combinación de componentes musculares y elásticos permite variaciones controladas del diámetro a medida que cambian la presión sanguínea o el volumen de sangre. Sin embargo, las paredes del vaso son demasiado gruesas como para permitir la difusión entre el torrente sanguíneo y los tejidos circundantes, o incluso entre la sangre y los tejidos del propio vaso. En vez de ello, las paredes de los grandes vasos contienen pequeñas arteriolas y vénulas que nutren las fibras musculares lisas, los fibroblastos y los fibrocitos de la media y la adventicia. A estos vasos sanguíneos se los denomina ***vasa vasorum*** («vasos de los vasos»).

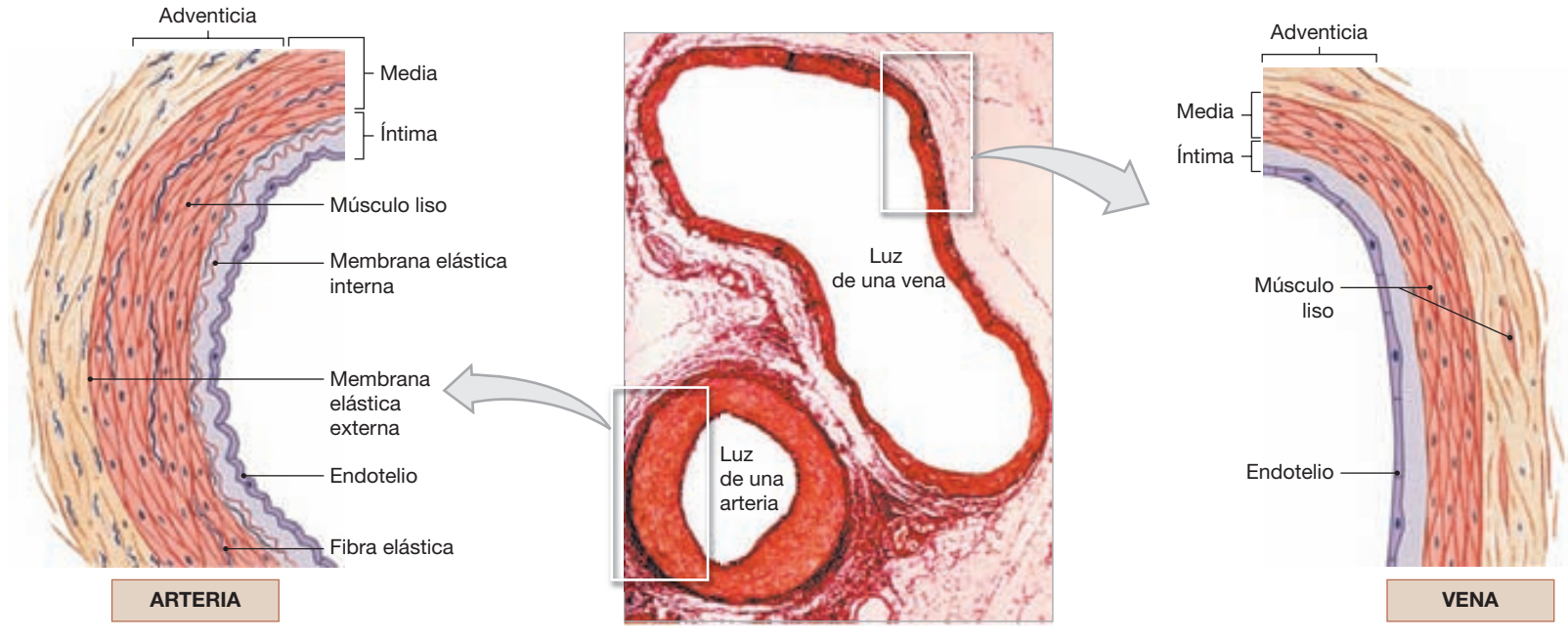


Figura 22.1 Comparación histológica de las arterias y venas típicas
Microfotografía a la luz de una arteria y vena (MO × 60).

Distinción entre arterias y venas [v. figura 22.1]

Las arterias que irrigan y las venas que drenan la misma región típicamente discurren paralelas entre sí en una estrecha banda de tejido conjuntivo (**v. figura 22.1**). Las arterias y las venas pueden diferenciarse en cortes histológicos por las siguientes características:

1. En general, cuando se comparan dos vasos adyacentes, las paredes de las arterias son más gruesas que las de las venas. La media de una arteria contiene más fibras musculares lisas y elásticas que la de las venas. Estos componentes contráctil y elástico resisten la presión generada por el corazón cuando impulsa la sangre hacia el circuito.
2. Cuando no se les opone la presión sanguínea, las paredes arteriales se contraen. Por tanto, cuando se estudian en disección o en corte transversal (**v. figura 22.1**), las arterias aparecen más pequeñas que las venas correspondientes. Como las paredes de las arterias son gruesas y fuertes, conservan su forma circular al corte. Las venas cortadas tienden a colapsarse, y en sección aparecen a menudo aplanadas o distorsionadas macroscópicamente.
3. El revestimiento endotelial de la arteria no puede contraerse, de forma que cuando una arteria se contrae, el endotelio tiene que plegarse de forma que en la sección arterial tiene un aspecto rugoso. El revestimiento de las venas carece de estos pliegues.

Arterias [v. figura 22.2]

Mientras circula desde el corazón a los capilares periféricos, la sangre atraviesa una serie de arterias de un diámetro cada vez menor: *arterias elásticas, arterias musculares y arteriolas* (**v. figura 22.2**).

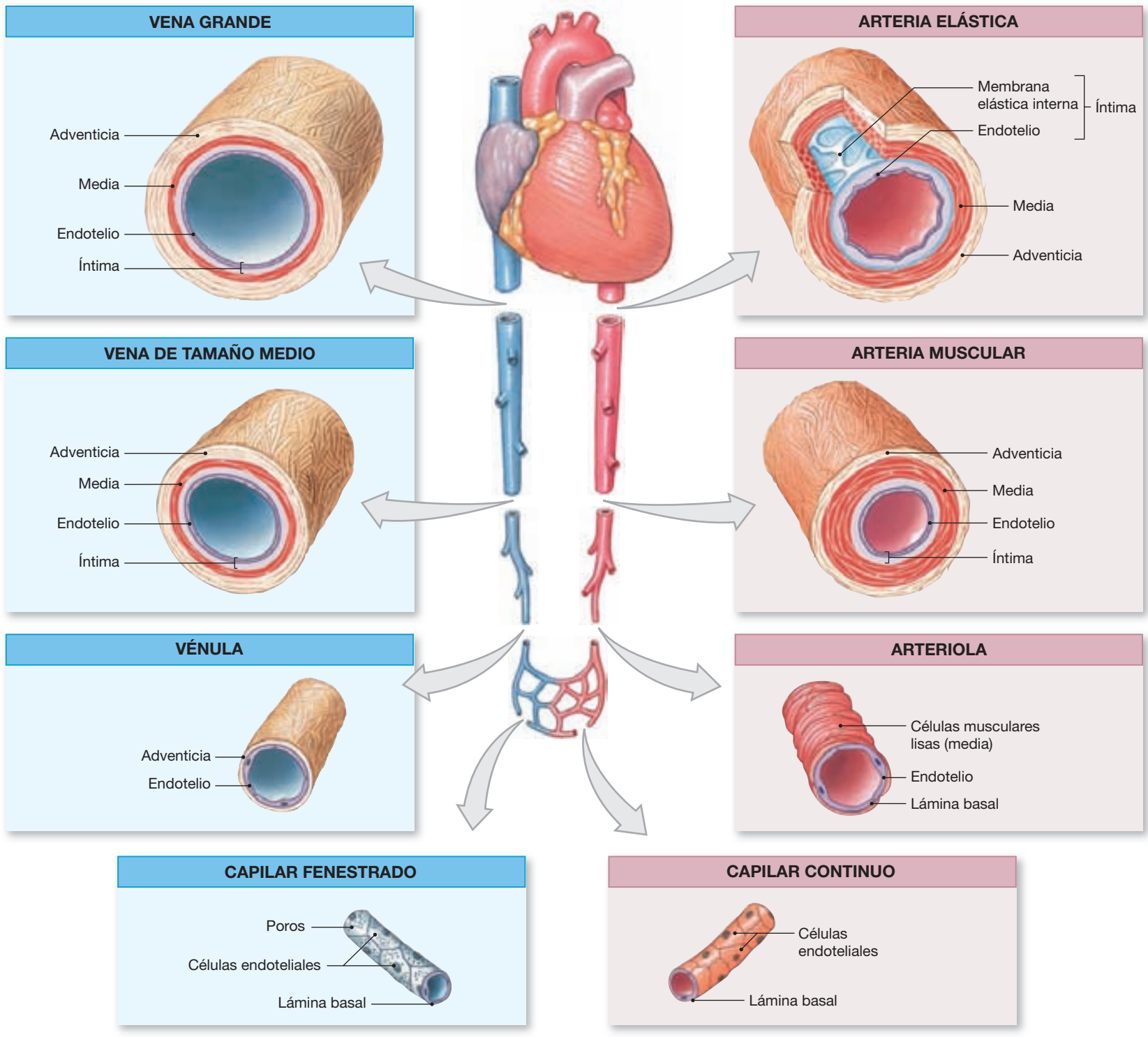


Figura 22.2 **Estructura histológica de los vasos sanguíneos**

Arterias elásticas [v. figura 22.2]

Las **arterias elásticas**, o *arterias de conducción*, son vasos de gran calibre con diámetros de hasta 2,5 cm. Transportan grandes volúmenes de sangre desde el corazón. Los troncos pulmonar y aórtico y sus principales ramas (las *arterias pulmonar, carótida común, subclavia* e *ilíacas comunes*) son ejemplos de arterias elásticas. Las paredes de las arterias elásticas no son muy gruesas en relación con el diámetro del vaso, pero son extremadamente resistentes. La capa media de estos vasos contiene una gran densidad de fibras elásticas y relativamente escasas fibras musculares lisas (**v. figura 22.2**). Como resultado, las arterias elásticas son capaces de tolerar los cambios de presión que se producen durante el ciclo cardíaco. Durante la sístole ventricular, la presión aumenta rápidamente y las arterias elásticas se

Nota clínica

Arterioesclerosis. La **arterioesclerosis** es un engrosamiento y endurecimiento de las paredes arteriales. Las complicaciones relacionadas con la arterioesclerosis son responsables aproximadamente de la mitad de los fallecimientos en EE. UU. Hay muchas formas diferentes de arterioesclerosis; un ejemplo en la enfermedad arterial coronaria (EAC), que se describió en el capítulo 21 [p. 560]. La arterioesclerosis tiene dos formas principales: la calcificación focal y la aterosclerosis.

- La **calcificación focal** es la degeneración gradual del músculo liso en la media y el consiguiente depósito de sales de calcio. Este proceso afecta típicamente a arterias de los miembros y de órganos genitales. Algunas calcificaciones focales aparecen como parte del proceso del envejecimiento y se pueden desarrollar en asociación con la aterosclerosis. Pueden aparecen calcificaciones de forma rápida y grave como complicación de la diabetes mellitus, un trastorno endocrino
- La **aterosclerosis** se asocia a una lesión del revestimiento endotelial y la formación de depósitos lipídicos en la media. Es la forma más habitual de arterioesclerosis.

Puede haber muchos factores implicados en el desarrollo de la aterosclerosis. Un factor principal son las concentraciones de lípidos en sangre. La aterosclerosis tiende a desarrollarse en personas con incremento de los lípidos plasmáticos, concretamente de colesterol. El colesterol circulante es transportado a los tejidos periféricos unido a las *lipoproteínas*, formando complejos lípidos-proteínas.

Cuando las lipoproteínas ricas en colesterol permanecen en la circulación durante un período prolongado, los monocitos circulantes comienzan a retirarlas del torrente sanguíneo. Al final los monocitos se llenan de gotas de lípidos y se convierten en *células espumosas*, que se fijan a las paredes endoteliales de los vasos sanguíneos, donde liberan factores de crecimiento. Estas citocinas estimulan la división de las células musculares lisas próximas a la íntima, lo que engruesa la pared del vaso.

Otros monocitos invaden después el área, migrando entre las células endoteliales. A medida que se producen estos cambios, los monocitos, las células musculares lisas y las células endoteliales comienzan también a fagocitar los lípidos. El resultado es una *placa*, una masa grasa de tejido que se proyecta hacia la luz del vaso. En este momento, la placa presenta una estructura relativamente simple y las evidencias indican que el proceso puede resultar reversible si se realizan los ajustes adecuados en la dieta.

Si la situación se mantiene, las células endoteliales se cargan de lípidos y aparecen fisuras en el revestimiento endotelial. Las plaquetas comienzan a fijarse a las fibras de colágeno expuestas. La combinación de la adhesión plaquetaria y su agregación lleva a la formación de un coágulo sanguíneo localizado, el cual restringe aún más el flujo sanguíneo dentro de la arteria. La estructura de la placa es ahora relativamente compleja. Se puede detener el crecimiento de la placa, pero los cambios estructurales generalmente son permanentes.

En la **figura 22.3** se muestran placas típicas. Los individuos de edad avanzada, especialmente hombres, son más proclives a desarrollar placas ateroscleróticas. Las evidencias indican que los estrógenos pueden enlentecer la formación de la placa; esta puede ser la causa de la menor incidencia de EAC, infartos de miocardio (IM) y accidentes cerebrovasculares en mujeres. Tras la menopausia, cuando disminuye la producción de estrógenos, el riesgo de EAC, IM y accidentes cerebrovasculares aumenta considerablemente en mujeres.

Además de la edad avanzada y el género masculino, otros factores importantes de riesgo incluyen los niveles altos de colesterol en sangre, la hipertensión sanguínea y el tabaquismo. Aproximadamente el 20% de los hombres de edad media presentan estos tres factores de riesgo conjuntamente; estos individuos presentan un riesgo cuatro veces superior de sufrir un IM o una parada cardíaca que otros hombres de su grupo de edad. Aunque menos mujeres desarrollan placas ateroscleróticas, las mujeres fumadoras de edad avanzada con colesterol elevado en sangre e hipertensión presentan un riesgo mucho mayor que otras mujeres. Los factores que pueden promover el desarrollo de la aterosclerosis tanto en hombres como en mujeres incluyen la diabetes mellitus, la obesidad y el estrés. Hay también evidencias que indican que al menos algunas formas de aterosclerosis pueden estar asociadas a infecciones crónicas con *Chlamydia pneumoniae*, una bacteria responsable de varios tipos de infecciones respiratorias, incluyendo algunas formas de neumonía.

Los potenciales tratamientos de las placas ateroscleróticas incluyen la *cateterización*, la *angioplastia con balón* y los *stents* [p. 561]. Sin embargo, la mejor aproximación es intentar evitar la aterosclerosis mediante la eliminación o la reducción de los factores de riesgo. Las sugerencias incluyen: 1) reducir la cantidad de colesterol y de grasas saturadas en la dieta mediante la restricción del consumo de carnes grasas (tales como buey, cordero y cerdo), yemas de huevo y leche; 2) dejar de fumar; 3) comprobar la hipertensión arterial y tomar las medidas para reducirla si es necesario; 4) monitorización regular de los niveles sanguíneos de colesterol y su tratamiento si resulta necesario; 5) el control del peso, y 6) la práctica regular de ejercicio.

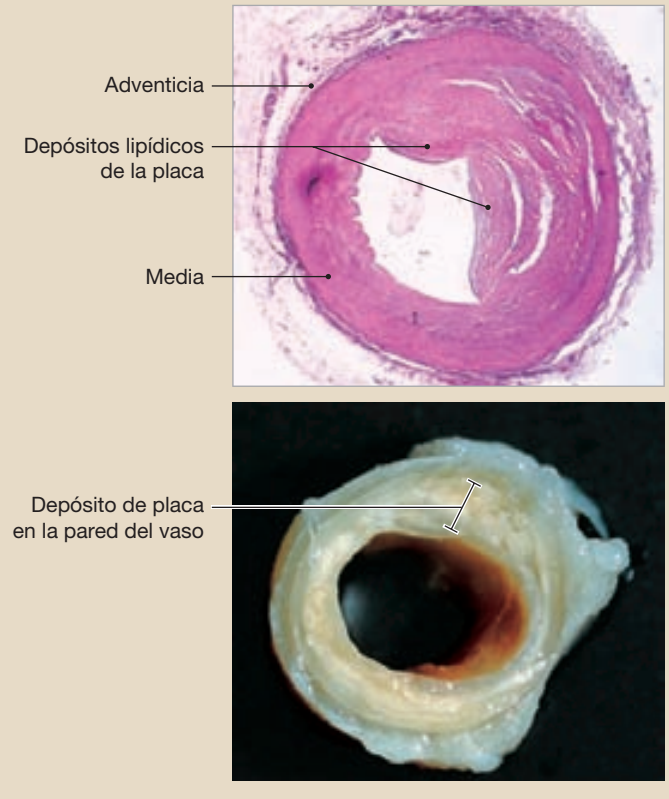


Figura 22.3 Una placa que obstruye una arteria periférica
La masa grasa se extiende hacia la luz del vaso y restringe el flujo sanguíneo (MO × 28).

ven estiradas, mientras que durante la diástole ventricular la presión sanguínea dentro del sistema arterial disminuye y las fibras elásticas recuperan sus dimensiones originales. El estiramiento amortigua el aumento repentino de presión durante la sístole ventricular y su recuperación enlentece la disminución de la presión durante la diástole ventricular y fuerza que la sangre siga avanzando hacia los capilares.

Arterias musculares [v. figuras 22.1/22.2]

Las **arterias musculares,** o *arterias de distribución* (también conocidas como *arterias de mediano calibre*), transportan la sangre al músculo estriado corporal y a los órganos internos. Una arteria muscular típica tiene un diámetro de aproximadamente 0,4 cm. Las arterias musculares tienen una media más gruesa con un mayor porcentaje de fibras musculares lisas del que se encuentra en las arterias elásticas (**v. figuras 22.1** y **22.2**). La *arteria carótida externa* del cuello, las *arterias humerales* de los brazos, las *arterias femorales* de los muslos y las *arterias mesentéricas* del abdomen son ejemplos de arterias musculares. La división simpática del SNA puede controlar el diámetro de cada una de estas arterias. Al contraer *(vasoconstricción)* o relajar *(vasodilatación)* el músculo liso de la media, el SNA puede regular el flujo de sangre a cada órgano de forma independiente.

Arteriolas [v. figura 22.2]

Las **arteriolas** son considerablemente más pequeñas que las arterias musculares. Las arteriolas tienen un diámetro promedio de aproximadamente 30 μm. Tienen una adventicia mal definida y su capa media consta de fibras musculares lisas dispersas que no forman una capa completa (**v. figura 22.2**). Las arterias musculares más pequeñas y las arteriolas cambian su diámetro en respuesta a condiciones locales o a la estimulación simpática o endocrina. Por ejemplo, las arteriolas de la mayoría de los tejidos sufren vasoconstricción bajo la estimulación simpática [p. 454]. Las arteriolas controlan el flujo sanguíneo entre arterias y capilares.

Las arterias elásticas y musculares están interconectadas sin solución de continuidad, cambiando gradualmente las características del vaso a medida que se va alejando del corazón. Por ejemplo, la mayor de las arterias musculares contiene una cantidad considerable de tejido elástico, mientras que la menor se parece en gran medida a las arteriolas musculares.

Capilares [v. figuras 22.2/22.4]

Los capilares son los vasos sanguíneos más pequeños y delicados (**v. figura 22.2**). Resultan importantes funcionalmente porque son los únicos vasos sanguíneos cuyas paredes permiten el intercambio entre la sangre y los líquidos intersticiales circundantes. Como sus paredes son relativamente finas, las distancias para la difusión son pequeñas, y el intercambio tiene lugar rápidamente. Además, la sangre fluye lentamente a través de los capilares, lo que permite un tiempo suficiente para la difusión o el transporte activo de materiales a través de las paredes capilares. Algunas sustancias atraviesan las paredes capilares por difusión a través del revestimiento de células endoteliales. Las sustancias pequeñas cruzan a través de fisuras entre las células endoteliales adyacentes. La estructura fina de cada capilar determina su capacidad para regular el intercambio bidireccional de sustancias entre la sangre y el líquido intersticial.

Un capilar típico consta de un tubo endotelial rodeado por una delicada lámina basal. El diámetro interno promedio de un capilar es de sólo 8 μm, muy similar al de un único eritrocito.

Existen **capilares continuos** en la mayoría de zonas del cuerpo. En este tipo de capilares, el endotelio es un revestimiento completo y las células endoteliales están conectadas a través de uniones estrechas y desmosomas (**v. figura 22.4a,b**).

Los **capilares fenestrados** son capilares que contienen «ventanas» o poros en sus paredes, debido a un revestimiento endotelial incompleto o perforado (**v. figura 22.4**).

Una sola célula endotelial puede rodear la luz completa de un capilar continuo (**v. figura 22.4c**). Las paredes de un capilar fenestrado son bastante más permeables; tienen un aspecto de «queso suizo» (**v. figura 22.4d**), y sus poros permiten que moléculas tan grandes como los péptidos y pequeñas proteínas entren o salgan de la circulación. Este tipo de capilares permite un intercambio muy rápido de líquidos y solutos. Ejemplos de los capilares fenestrados expuestos en capítulos anteriores incluyen los plexos coroideos del cerebro y los capilares de varios órganos endocrinos, incluyendo el hipotálamo, la hipófisis, la pineal, las suprarrenales y la glándula tiroides [p. 394]. También se encuentran capilares fenestrados en los puntos de filtración de los riñones.

Los **sinusoides** recuerdan a los capilares fenestrados salvo porque presentan poros mayores y una lámina basal más fina (en algunos órganos, como el hígado, no existe lámina basal). Los sinusoides son aplanados e irregulares y siguen los contornos internos de órganos complejos. Permiten un intenso intercambio de líquidos y de solutos grandes, incluyendo proteínas en suspensión, entre la sangre y el líquido intersticial. La sangre se mueve a través de los sinusoides con relativa lentitud, lo que maximiza el tiempo disponible para la absorción y secreción a través de las paredes sinusoidales. Los sinusoides se encuentran en el hígado, la médula ósea y las glándulas suprarrenales.

Cuatro mecanismos básicos son los responsables del intercambio de materiales a través de las paredes de capilares y sinusoides:

1. Difusión a través de las células endoteliales capilares (sustancias liposolubles, gases y agua por ósmosis).
2. Difusión a través de intervalos entre células endoteliales adyacentes (agua y pequeños solutos; solutos grandes en el caso de sinusoides).
3. Difusión a través de los poros de capilares fenestrados y sinusoides (agua y solutos).
4. Transporte vesicular por las células endoteliales (endocitosis en el lado de la luz; exocitosis en el lado basal), agua y solutos concretos ligados y no ligados [pp. 32-33, 42].

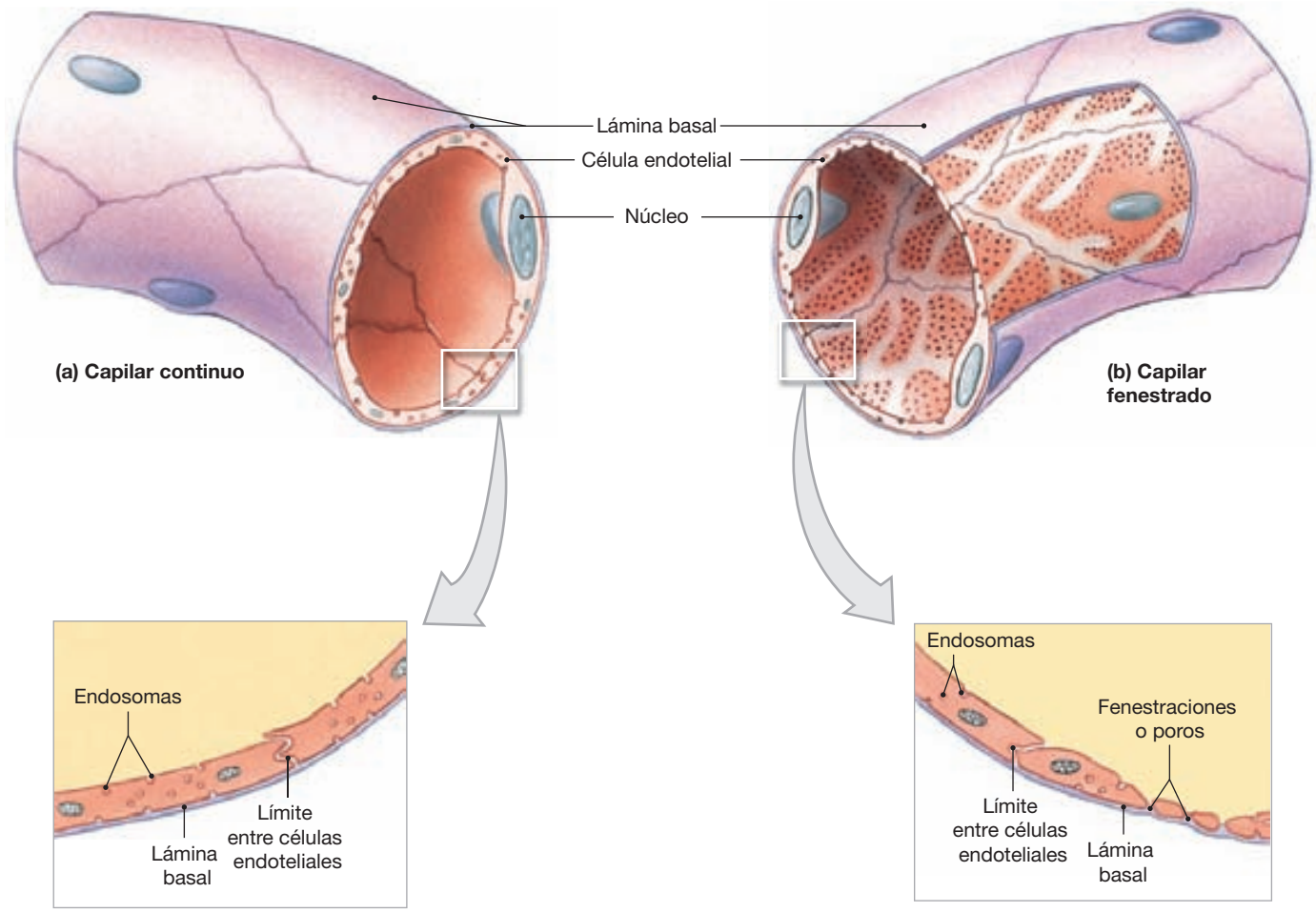
Lechos capilares [v. figura 22.5]

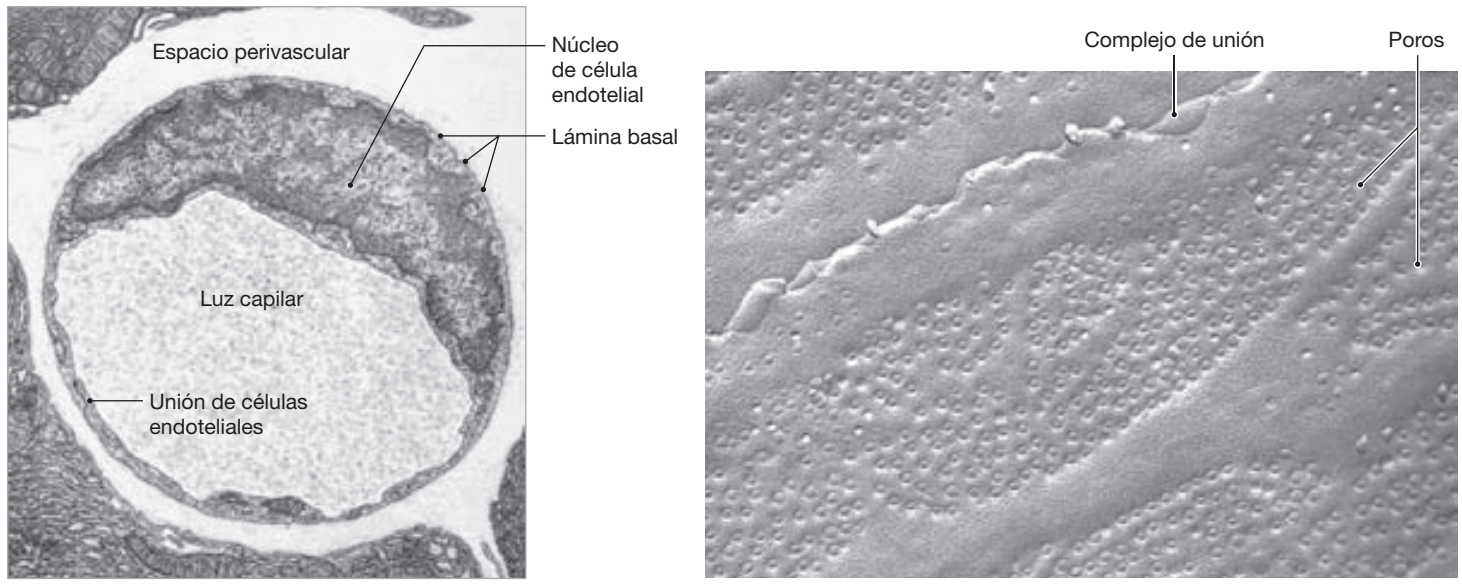
Los capilares no funcionan como unidades individuales. Cada capilar es una parte de una retícula interconectada denominada **lecho capilar** o **plexo capilar** (**v. figura 22.5**). Una única arteriola suele originar docenas de capilares que desembocan en varias vénulas. La entrada a cada capilar está controlada por una banda de músculo liso conocida como **esfínter precapilar.** La contracción de las fibras musculares lisas contrae y reduce el diámetro de la entrada al capilar, reduciendo o frenando, por tanto, el flujo de sangre. La relajación del esfínter dilata la apertura, lo que permite que la sangre entre en el capilar a una velocidad mayor. Los esfínteres precapilares se abren cuando aumentan los niveles de dióxido de carbono; tal elevación indica que el tejido necesita oxígeno y nutrientes. Los esfínteres se cierran cuando disminuyen los niveles de dióxido de carbono, o bajo la estimulación simpática.

Un lecho capilar contiene varias conexiones relativamente directas entre las arteriolas y las vénulas. El segmento arteriolar de tal comunicación contiene células musculares lisas capaces de alterar su diámetro, conociéndose esta región como **metarteriola** (**v. figura 22.5a**). Es en cierto modo una estructura intermedia entre las arteriolas y los capilares. El resto de la comunicación recuerda a un capilar típico y se le conoce como **canales libres.**

La sangre suele fluir desde las arteriolas a las vénulas a un ritmo constante, pero el flujo sanguíneo dentro de un capilar aislado puede ser muy variable. Cada esfínter precapilar realiza ciclos de contracción y relajación alternantes, quizá una docena de veces por minuto. Como resultado, el flujo sanguíneo dentro de cualquier capilar aislado se produce en una serie de pulsos más que como una corriente constante mantenida. El efecto neto es que la sangre puede alcanzar las vénulas por una ruta ahora y por otra bastante diferente después. Este proceso, que es controlado a nivel tisular, es conocido como la **autorregulación capilar.**

Hay también mecanismos que modifican el aporte circulatorio a todo el complejo capilar. Las redes capilares de un área están a menudo nutridas por más de una arteria. Las arterias, llamadas **colaterales,** entran en la región y se



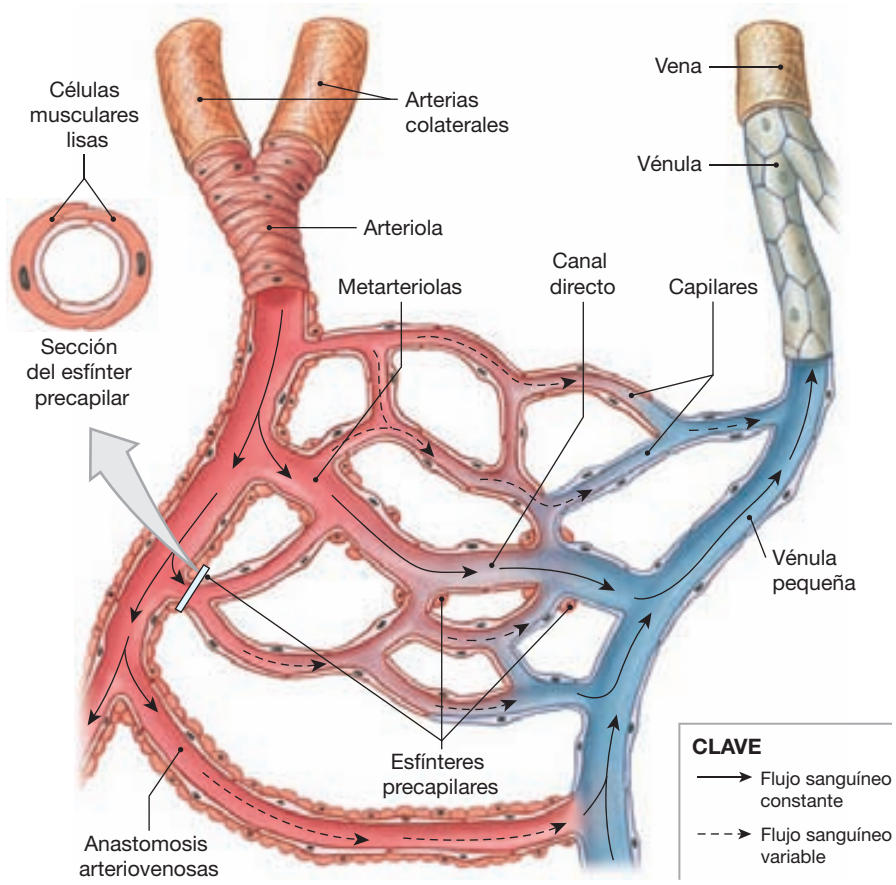


(c) MET de un capilar continuo

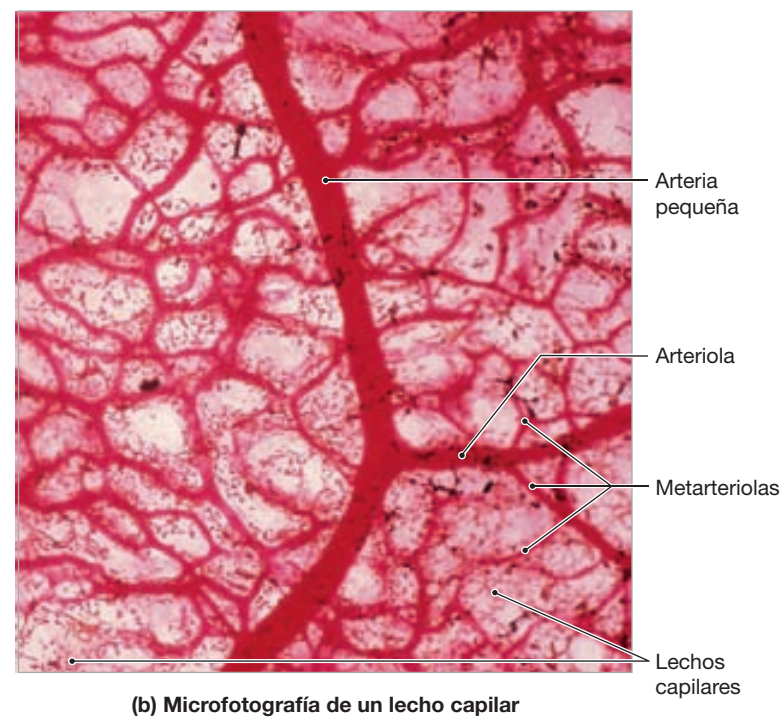
(d) MEB de un capilar fenestrado

Figura 22.4 Estructura de los capilares

(a) Este diagrama de un capilar continuo muestra la estructura de su pared. **(b)** Este diagrama de un capilar fenestrado detalla la estructura de su pared. **(c)** Una imagen de MET muestra una sección a través de un capilar continuo. Una sola célula endotelial forma un revestimiento completo alrededor de esta parte del capilar. **(d)** Una imagen de MEB muestra la pared de un capilar fenestrado. Los poros son orificios en el revestimiento endotelial que permiten el paso de grandes volúmenes de líquido y solutos (MEB × 12.425).



(a) Lecho capilar



(b) Microfotografía de un lecho capilar

Figura 22.5 Organización del lecho capilar
(a) Organización básica del lecho capilar típico. El patrón de flujo sanguíneo cambia continuamente en respuesta a variaciones regionales de las demandas tisulares de oxígeno. **(b)** El lecho capilar como se ve en un tejido vivo.

fusionan entre sí más que finalizar en una serie de arteriolas. La interconexión es una **anastomosis arterial.** Se encuentran anastomosis arteriales en el cerebro, el corazón y el estómago, y en otros órganos o regiones corporales con demandas circulatorias significativas. Tal disposición garantiza un aporte sanguíneo fiable a los tejidos; si un aporte arterial se bloquea, los otros aportarán sangre al lecho capilar. Las **anastomosis arteriovenosas** son conexiones directas entre arteriolas y vénulas (v. figura 22.5a). Las anastomosis arteriovenosas son frecuentes en órganos viscerales y articulaciones donde los cambios de la posición corporal podrían impedir el flujo entre un vaso y otro. Los músculos lisos de las paredes de estos vasos se pueden contraer o relajar para regular la cantidad de sangre que alcanza el lecho capilar. Por ejemplo, cuando están dilatadas las anastomosis arteriovenosas, la sangre sorteará el lecho capilar y fluirá directamente hacia la circulación venosa.

Venas [v. figuras 22.1/22.2]

Las venas recogen la sangre de todos los tejidos y órganos y la devuelven al corazón. Siguiendo el patrón de flujo sanguíneo, las venas se exponen desde las más pequeñas a las mayores (vénula de medio tamaño a vena grande), mientras que las arterias se expusieron de la mayor a la menor (de la arteria elástica a la arteria muscular y a la arteriola). Las paredes de las venas son más finas y menos elásticas que las de las arterias correspondientes porque la presión sanguínea en las venas es menor que la de las arterias. Exceptuando las vénulas más pequeñas, todas las venas contienen las mismas tres capas en las paredes que las que se encuentran en las arterias. Sin embargo, las venas presentan mayor variación estructural que las arterias y la estructura histológica de una vena concreta puede variar a lo largo de su longitud.

Las venas se clasifican en función de su tamaño y, en general, las venas son mayores en diámetro que sus correspondientes arterias. Revise las figuras 22.1, p. 572, y 22.2, p. 573, para comparar las arterias y venas típicas.

Vénulas

Las **vénulas,** las venas más pequeñas, recogen la sangre de los capilares. Varían ampliamente en tamaño y características. Las vénulas más pequeñas recuerdan capilares expandidos, y las vénulas de tamaño inferior a 50 μm de diámetro total carecen además de media. Una vénula promedio tiene un diámetro luminal de aproximadamente 20 μm. Las paredes de las vénulas de más de 50 μm contienen las tres capas, pero la media es fina y está dominada por el tejido conjuntivo. La media de las vénulas muy grandes contiene células musculares lisas dispersas.

Venas de tamaño medio

Las **venas de tamaño medio** presentan un rango entre 2 y 9 mm de diámetro interno y se corresponden en general con las arterias de tamaño medio. En estas venas, la media es fina y contiene relativamente pocas fibras musculares lisas. La capa más gruesa en las venas de tamaño medio es la adventicia, que contiene haces longitudinales de fibras elásticas y colágenas.

Venas grandes

Las **venas de gran tamaño** incluyen las *grandes venas*, las *venas cavas superior* e *inferior,* y sus tributarias dentro de las cavidades abdominopélvica y torácica. En las venas, todas las capas son más gruesas en las venas de mayor tamaño. La fina media está rodeada por una gruesa adventicia compuesta por una mezcla de fibras elásticas y de colágeno.

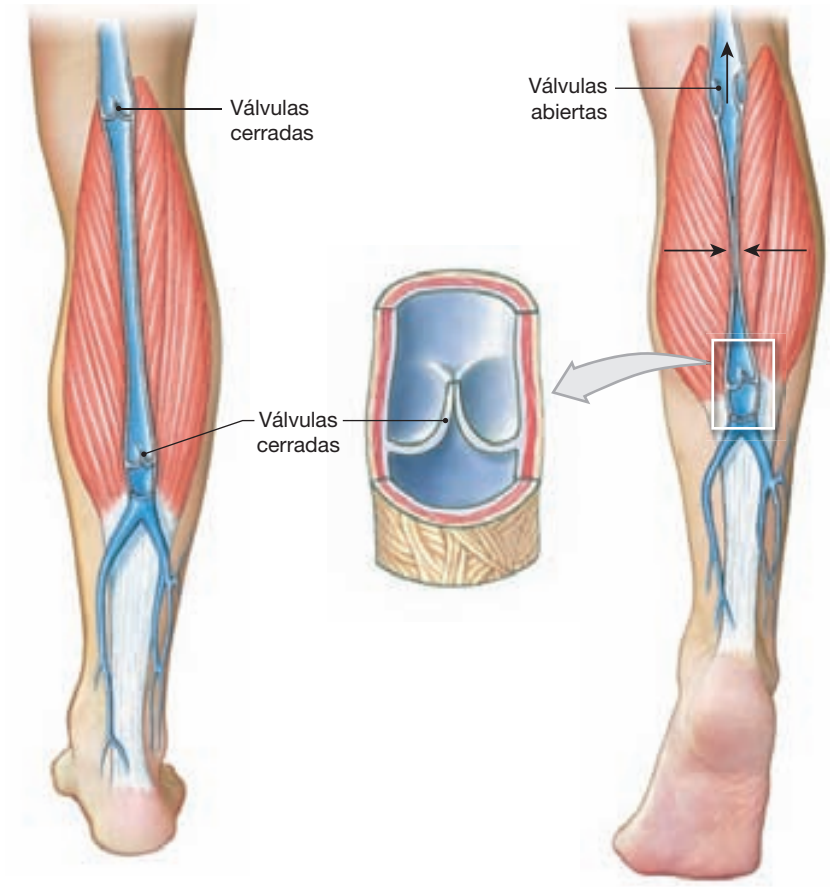


Figura 22.6 Función de las válvulas en el sistema venoso
Las válvulas en la pared de las venas de tamaño medio evitan el retroceso de la sangre. La compresión de las venas producida por la contracción de los músculos estriados adyacentes crea una presión (mostrada por las flechas) que ayuda a mantener el flujo sanguíneo venoso. Los cambios en la posición del cuerpo y la bomba toracoabdominal pueden proporcionar una ayuda adicional.

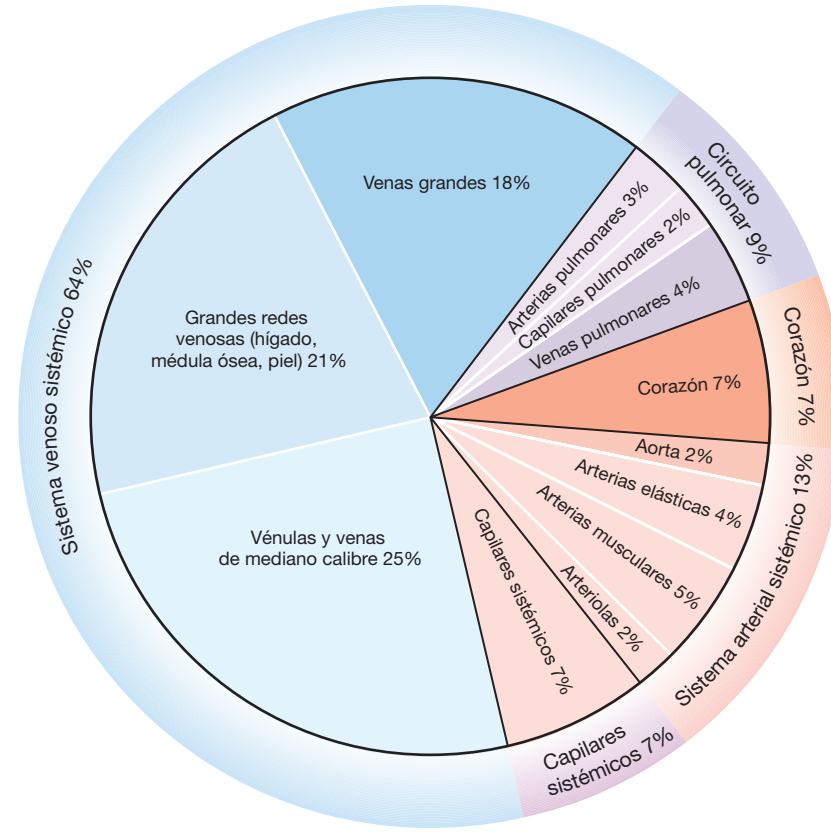


Figura 22.7 Distribución de la sangre en el aparato cardiovascular

Válvulas venosas [v. figura 22.6]

La presión arterial en las vénulas y en las venas de tamaño medio es demasiado baja como para oponerse a la fuerza de la gravedad. En los miembros, las venas de este tamaño contienen **válvulas** unidireccionales que se forman a partir de repliegues de la íntima (**v. figura 22.6**). Estas válvulas actúan como las válvulas cardíacas, evitando el retorno de la sangre. Mientras las válvulas funcionen normalmente, cualquier movimiento que distorsione o comprima una vena impulsará la sangre hacia el corazón. Por ejemplo, cuando se está de pie, la sangre que retorna desde los pies debe superar la fuerza de la gravedad para ascender al corazón. Las válvulas compartimentalizan la sangre dentro de las venas, dividiendo, por tanto, el peso de la sangre entre los compartimentos. Cualquier movimiento de los músculos estriados circundantes exprime la sangre hacia el corazón. A este mecanismo se le denomina *bomba muscular estriada*. Las venas grandes como la vena cava no tienen válvulas, pero los cambios de presión en la cavidad torácica ayudan a desplazar la sangre hacia el corazón. Este mecanismo, llamado *bomba toracoabdominal*, será expuesto más adelante en el capítulo 24.

Distribución de la sangre [v. figura 22.7]

El volumen total de sangre está distribuido desigualmente entre arterias, venas y capilares (**v. figura 22.7**). El corazón, las arterias y los capilares normalmente contienen el 30%-35% del volumen sanguíneo (alrededor de 1,5 L de sangre en total), mientras que el sistema venoso contiene el resto (65%-70% o aproximadamente 3,5 L).

Como sus paredes son más finas y contienen una proporción menor de músculo liso, las venas son mucho más distensibles que las arterias. Para un incremento de presión determinado, una vena típica se distenderá unas ocho veces más que la arteria correspondiente. Si el volumen sanguíneo aumenta o disminuye, las paredes elásticas se estiran o encogen, cambiando el volumen de sangre dentro del sistema venoso.

Si se produce una hemorragia grave, el centro vasomotor del bulbo raquídeo estimula los nervios simpáticos que inervan las células musculares lisas de las paredes de las venas de tamaño medio. Cuando estas células musculares de las paredes se contraen, esta **venoconstricción** reduce el volumen en el sistema venoso. Además, la sangre entra en la circulación general a través de las redes venosas en el hígado, la médula ósea y la piel. La reducción de la cantidad de sangre en el sistema venoso puede mantener el volumen dentro del sistema arterial en cantidades casi normales a pesar de una pérdida significativa de sangre. El sistema venoso actúa, pues, como un **reservorio de sangre,** siendo el hígado el reservorio primario; el cambio en el volumen constituye la **reserva venosa.** La reserva venosa normalmente supone únicamente algo más de 1 litro, el 21% del volumen total de sangre.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. El estudio de una sección tisular muestra varios vasos pequeños de pared fina con una cantidad muy escasa de tejido muscular liso en la media. ¿De qué tipo de vasos se trata?
2. ¿Por qué existen válvulas en las venas, pero no en las arterias?
3. La arteria femoral es un ejemplo ¿de qué tipo de arteria?
4. ¿Se produce el intercambio gaseoso entre la sangre y los tejidos circundantes en las arteriolas?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Distribución de los vasos sanguíneos [v. figura 22.8]

Los vasos sanguíneos del cuerpo pueden dividirse en los circuitos pulmonar y sistémico. El circuito pulmonar está constituido por arterias y venas que transportan sangre entre el corazón y los pulmones, una distancia relativamente corta.

Las arterias y venas del circuito sistémico transportan sangre oxigenada entre el corazón y los tejidos restantes, un recorrido circular que supone distancias mucho más largas. Hay algunas diferencias funcionales y estructurales entre los vasos de estos circuitos. Por ejemplo, la presión sanguínea en el circuito pulmonar es relativamente baja, y las paredes de las arterias pulmonares son más finas que las de las arterias sistémicas.

En la **figura 22.8** se resumen las rutas circulatorias primarias en los circuitos pulmonar y sistémico. De las tablas y figuras siguientes se derivan tres patrones funcionales importantes:

1. La distribución periférica de las arterias y las venas en los lados izquierdo y derecho suele ser idéntica excepto cerca del corazón, donde los vasos principales se conectan con las aurículas o ventrículos.
2. Un vaso único puede tener varios nombres a medida que atraviesa puntos anatómicos concretos, haciendo posibles descripciones anatómicas precisas cuando el vaso se extiende bien en la periferia.
3. Las arterias y las venas a menudo presentan conexiones anastomóticas que reducen el impacto de la oclusión temporal o incluso permanente (bloqueo) de un vaso único.

Circuito pulmonar [v. figura 22.9]

La sangre que entra en la aurícula derecha acaba de regresar de los lechos capilares de los tejidos periféricos y el miocardio. Mientras la sangre permanecía en aquellos lechos capilares, se liberó oxígeno y se absorbió dióxido de carbono. Tras atravesar la aurícula y el ventrículo derechos, la sangre entra en el tronco de la pulmonar, el comienzo del circuito pulmonar. Este circuito, que en cualquier momento dado contiene aproximadamente el 9% del volumen sanguíneo, comienza en la válvula pulmonar y finaliza en la entrada a la aurícula izquierda. En el circuito pulmonar (**v. figura 22.9a**), se renueva el oxígeno, se excreta el dióxido de carbono y se devuelve la sangre al corazón para su distribución por el cuerpo a través del circuito sistémico. En comparación con el circuito sistémico, el circuito pulmonar es relativamente corto; la base del tronco pulmonar y los pulmones sólo están a una distancia aproximada de 15 cm.

Las arterias del circuito pulmonar difieren de las del circuito sistémico en que transportan sangre desoxigenada (por esta razón, los diagramas en color suelen mostrar las arterias pulmonares en azul, el mismo color de las venas sistémicas).

A medida que el tronco de la pulmonar se curva sobre el límite superior del corazón, da origen a las **arterias pulmonares izquierda** y **derecha.** Estas arterias de gran calibre entran en los pulmones antes de ramificarse en repetidas ocasiones, originando arterias cada vez menores. Las ramas más pequeñas, las *arteriolas pulmonares*, proporcionan sangre a las redes capilares que rodean las pequeñas cavidades aéreas o **alvéolos** (*alvéolo,* saco) de los pulmones.

Las paredes de los alvéolos son lo suficientemente finas como para que se produzca el intercambio gaseoso entre la sangre capilar y el aire inspirado (en el capítulo 24 se describe la estructura alveolar). Cuando abandona los capilares alveolares, la sangre oxigenada entra en vénulas que a su vez convergen para formar venas de mayor calibre que transportan la sangre hacia las **venas pulmonares.** Estas cuatro venas, dos para cada pulmón, desembocan en la aurícula izquierda, completando el circuito pulmonar (**v. figura 22.9a**). La **figura 22.9b** es una angiografía coronaria que muestra el circuito pulmonar y su relación con el corazón y los pulmones en un sujeto vivo.

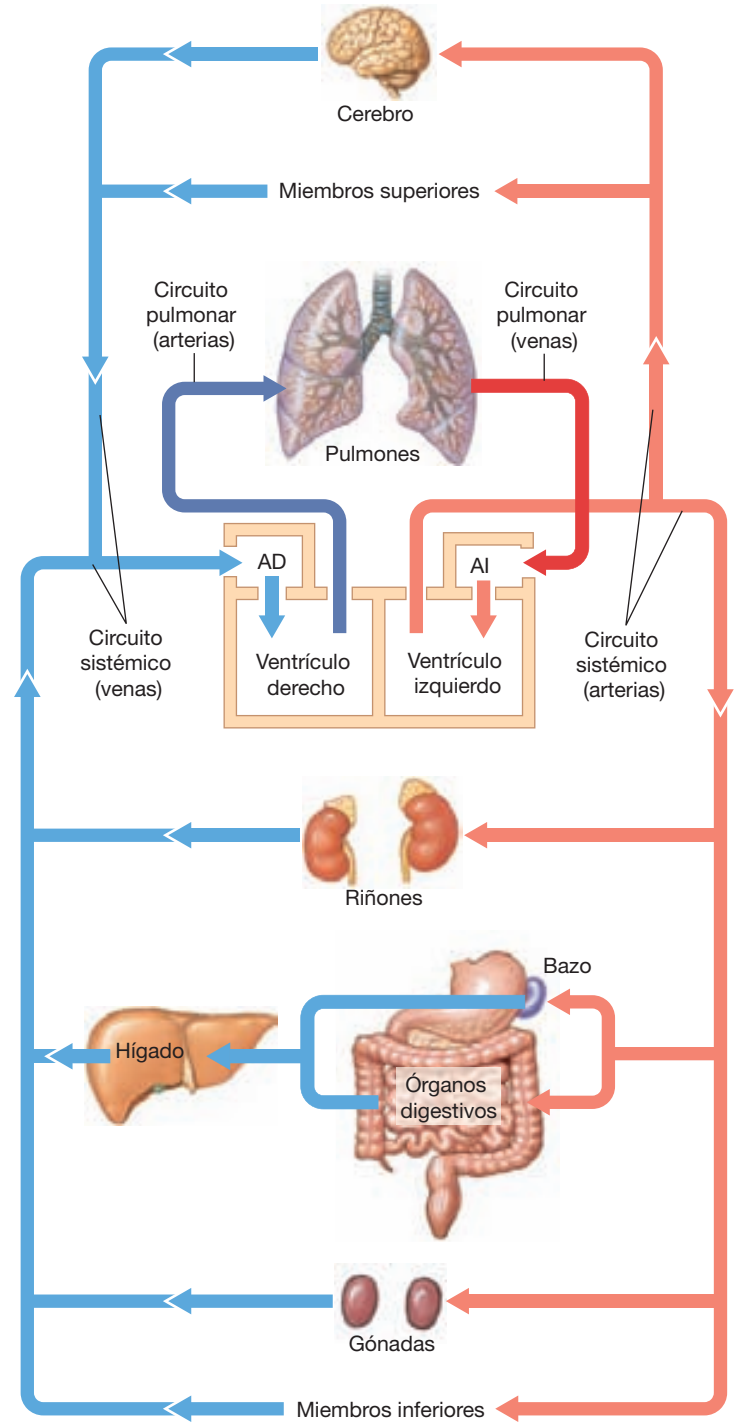


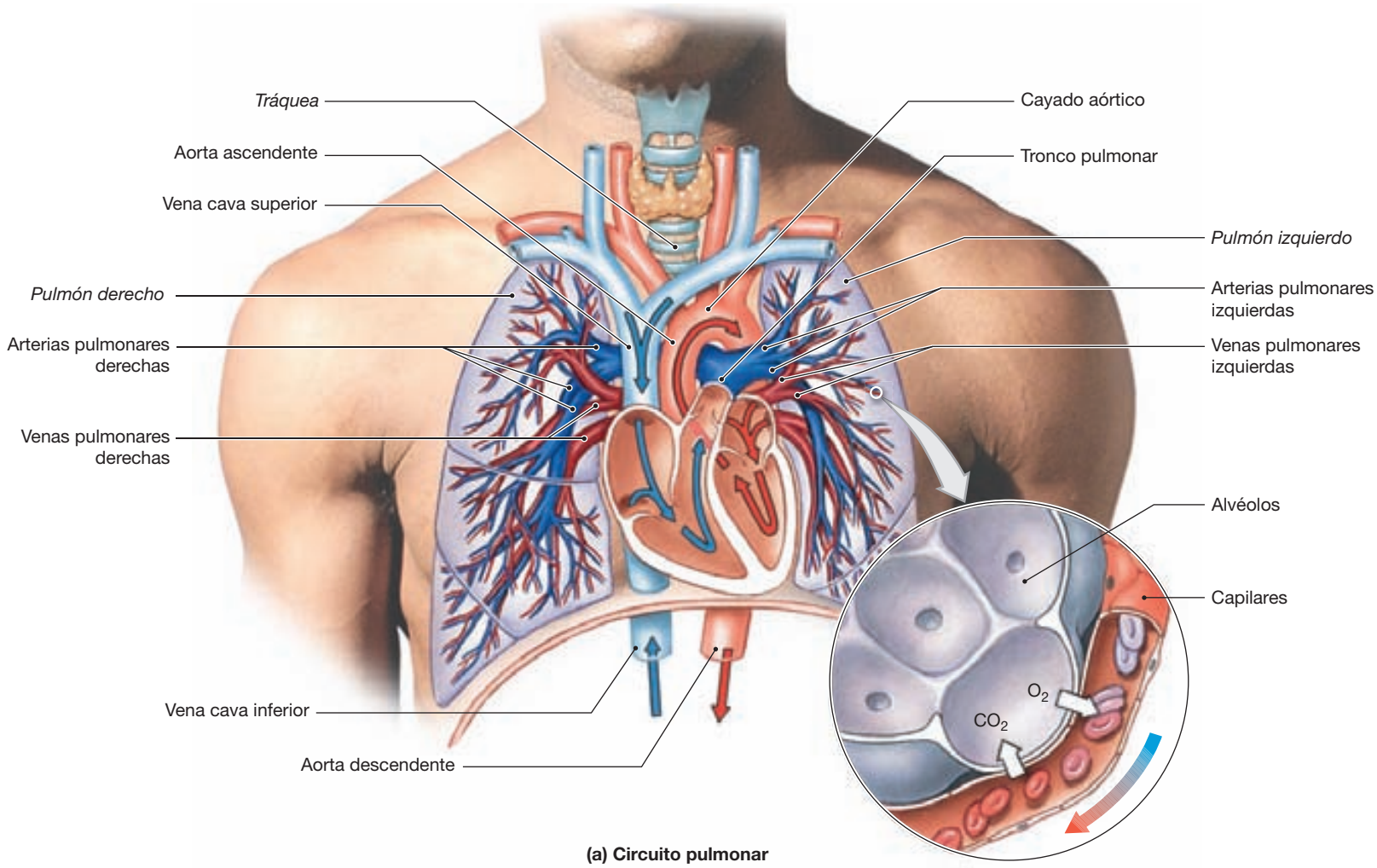
Figura 22.8 **Visión global del patrón general de la circulación**

Circuito sistémico

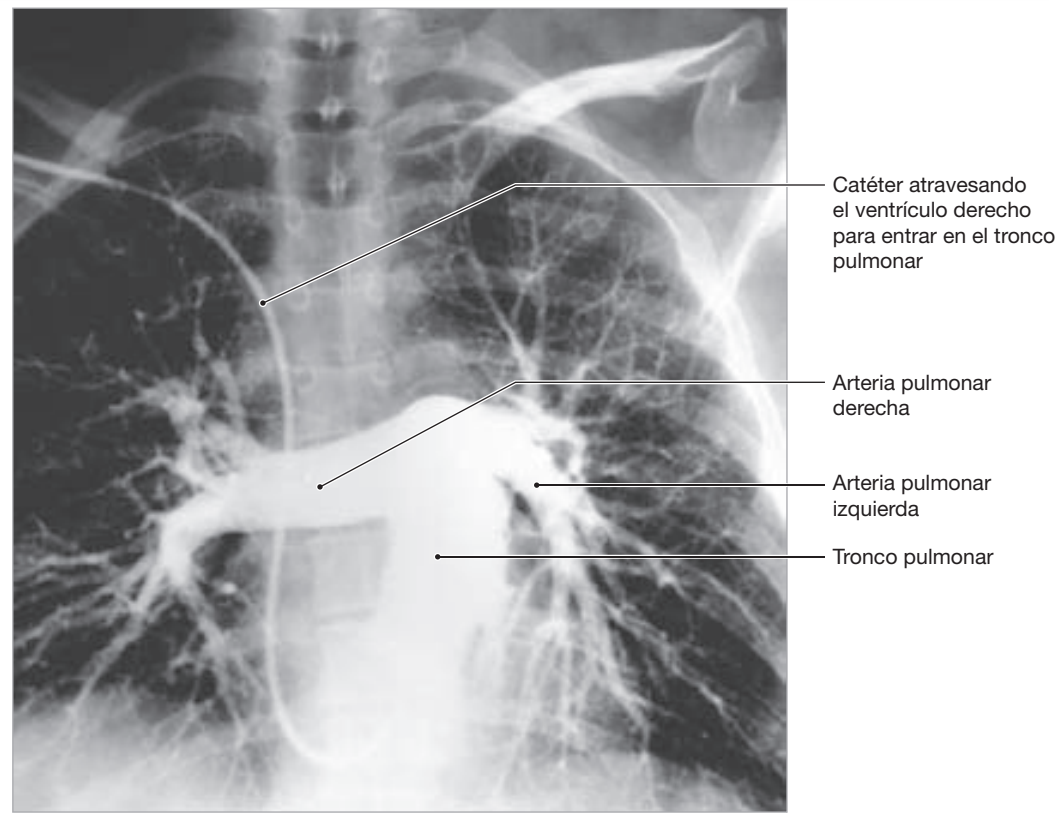
El circuito sistémico comienza en la válvula aórtica y finaliza en la entrada a la aurícula derecha. Nutre los lechos capilares de todas las partes del cuerpo no irrigadas por el circuito pulmonar y, en cualquier momento dado, contiene aproximadamente el 84% del volumen sanguíneo total.

Arterias sistémicas [v. figuras 22.10 a 22.20]

La **figura 22.10** es una visión de conjunto del sistema arterial. En esta figura se señalan las localizaciones relativas de las principales arterias sistémicas. La distribución detallada de estos vasos y sus ramas puede encontrarse en las **figuras 22.11** a **22.20**. Como se presentan figuras separadas para arterias y venas, no se han incluido los términos *arteria/arterias* y *vena/venas* en las leyendas. Como resultado, se presenta la forma singular del nombre, como *intercostal*, ya señalen las indicaciones a una arteria intercostal indi-



(a) Circuito pulmonar


Catéter atravesando el ventrículo derecho para entrar en el tronco pulmonar
Arteria pulmonar derecha
Arteria pulmonar izquierda
Tronco pulmonar

(b) Angiografía

Figura 22.9 Circuito pulmonar

(a) Anatomía del circuito pulmonar. Las flechas azules indican el flujo de la sangre desoxigenada; las flechas rojas indican el flujo de la sangre oxigenada. El detalle muestra los alvéolos del pulmón y las rutas de difusión de los gases hacia dentro y fuera del torrente sanguíneo a través de las paredes de los capilares alveolares. **(b)** Angiografía coronaria que muestra el corazón, los vasos del circuito pulmonar, el diafragma y los pulmones.

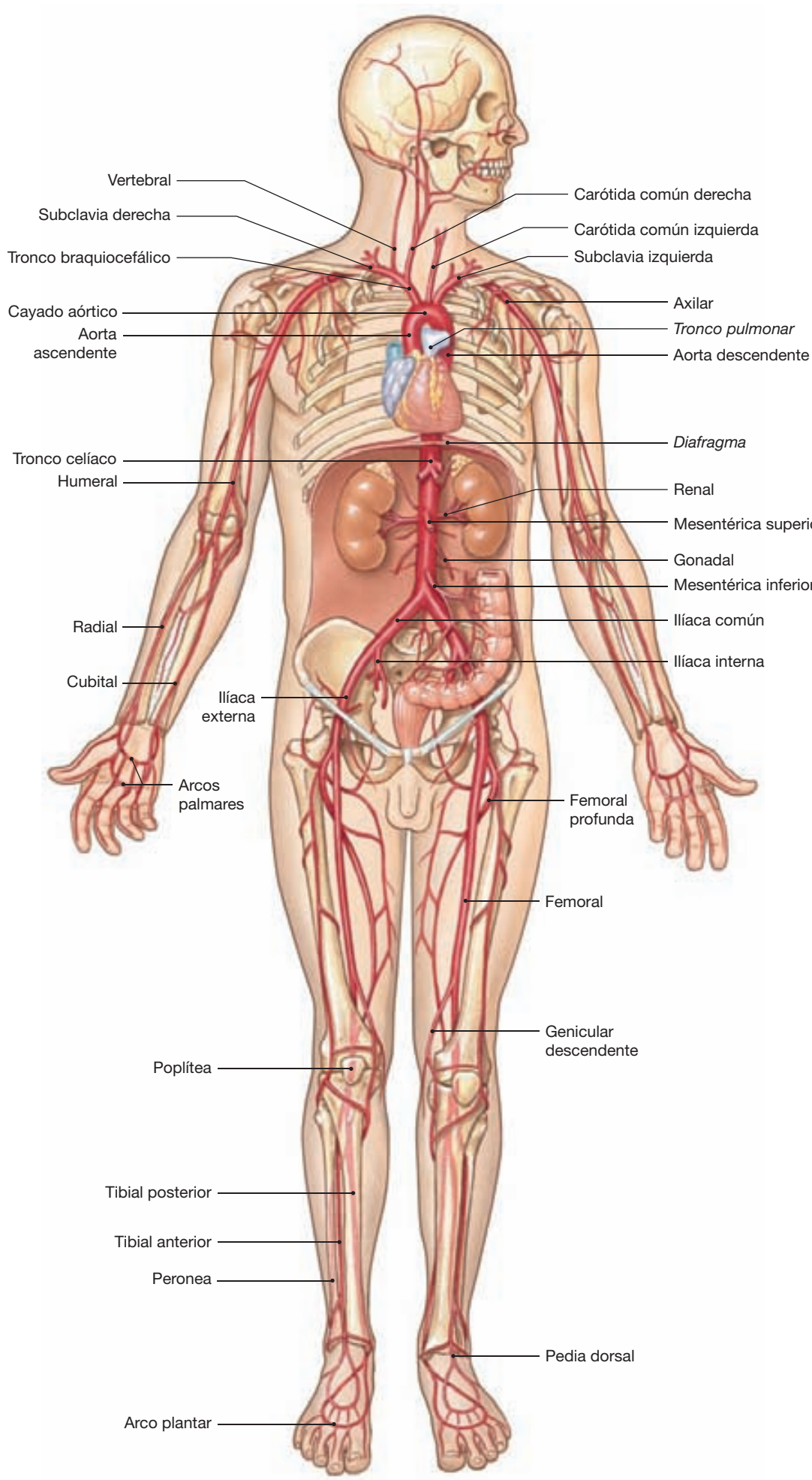


Figura 22.10 **Visión global del sistema arterial sistémico**

vidual o a varias arterias intercostales. Por convenio, a varias arterias de gran tamaño se las denomina *troncos;* para evitar confusiones, se mostrarán estos nombres en su totalidad. Como las descripciones siguientes se centran en las ramas principales que se encuentran a ambos lados del cuerpo, sólo aparecerán los términos *derecha* e *izquierda* en los casos en los que se etiqueten ambos vasos.

Aorta ascendente [v. figuras 21.6a/21.8/22.9] La **aorta ascendente** comienza en la válvula aórtica del ventrículo izquierdo (v. figuras 21.6a [p. 555] y 22.9). Las arterias coronarias izquierda y derecha se originan en la base de la aorta ascendente, inmediatamente por encima de la válvula aórtica. La distribución de los vasos coronarios se expuso en el capítulo 21 y se ilustra en la figura 21.8 [p. 559].

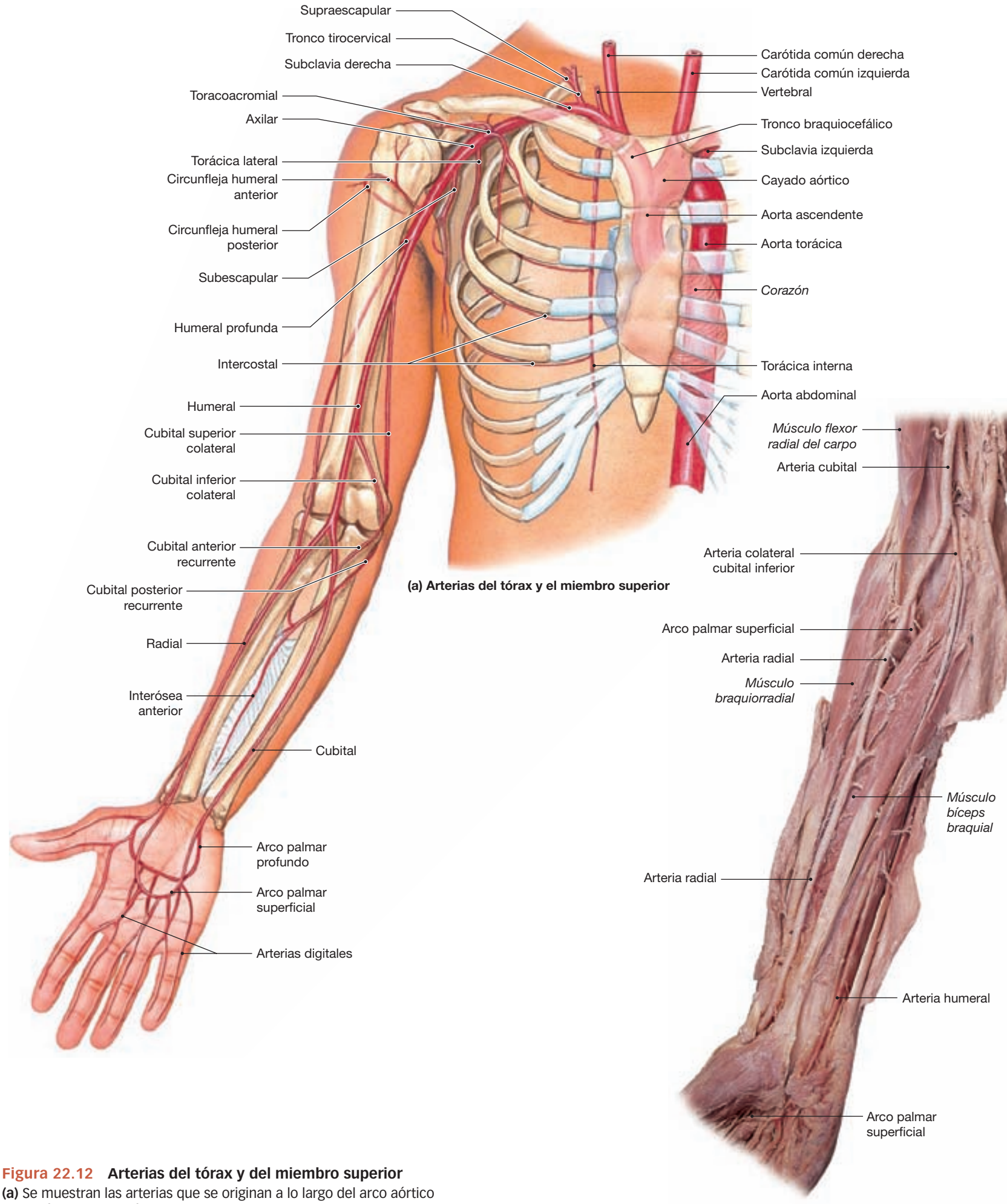
Cayado aórtico [v. figuras 22.10 a 22.13] Arqueándose como el mango de un bastón alrededor de la superficie superior del corazón, el **cayado aórtico** conecta la aorta ascendente con la *aorta descendente*. Tres arterias elásticas se originan a lo largo del cayado aórtico (v. figuras 22.10, 22.11 y 22.12). Estas arterias, el **tronco braquiocefálico,** la **arteria carótida común** y la **arteria subclavia izquierda,** llevan sangre a la cabeza, el cuello, los hombros y los miembros superiores. El tronco braquiocefálico, también llamado *arteria innominada*, asciende durante una distancia muy corta antes de ramificarse en **arteria subclavia derecha** y **arteria carótida común derecha.** Hay sólo un tronco braquiocefálico, mientras que las arterias carótida común izquierda y subclavia izquierda se originan separadamente del cayado aórtico. Sin embargo, en términos de su distribución periférica, los vasos del lado izquierdo son imágenes especulares de los vasos del lado derecho. Las figuras 22.12 y 22.13 ilustran las principales ramas de estas arterias.

Arterias subclavias [v. figuras 22.10 a 22.12] Los miembros superiores, la pared torácica, los hombros, la espalda, el cerebro y la médula espinal están irrigados con sangre de las arterias subclavias (v. figuras 22.10 a 22.12). Se originan tres ramas principales antes de que la arteria subclavia abandone la cavidad torácica: 1) el **tronco tirocervical,** que proporciona sangre a músculos y otros tejidos del cuello, los hombros y la parte superior de la espalda; 2) la **arteria torácica interna,** que nutre el pericardio y la pared torácica anterior, y 3) la **arteria vertebral,** que proporciona sangre al encéfalo y la médula espinal.

Tras abandonar la cavidad tóracica y sobrepasar el borde externo de la primera costilla, la arteria subclavia se convierte en la **arteria axilar,** que aporta el riego para los músculos de la región pectoral y la axila. La arteria axilar atraviesa la axila para entrar en el brazo, donde da origen a las *arterias circunflejas humerales*, que irrigan estructuras próximas a la cabeza del húmero. Distalmente la arteria axilar se convierte en la **arteria humeral,** que irriga el miembro superior.

La arteria humeral origina primeramente la **arteria humeral profunda,** la cual nutre estructuras profundas a lo largo de la superficie posterior del brazo. Aporta después sangre para las *arterias colaterales cubitales*, las cuales, conjuntamente con las *arterias recurrentes cubitales,* irrigan el área en torno al codo. En la fosa cubital, la arteria humeral se divide en **arteria radial,** que sigue al radio, y **arteria cubital,** que sigue al cúbito hasta la muñeca. Estas arterias lle-

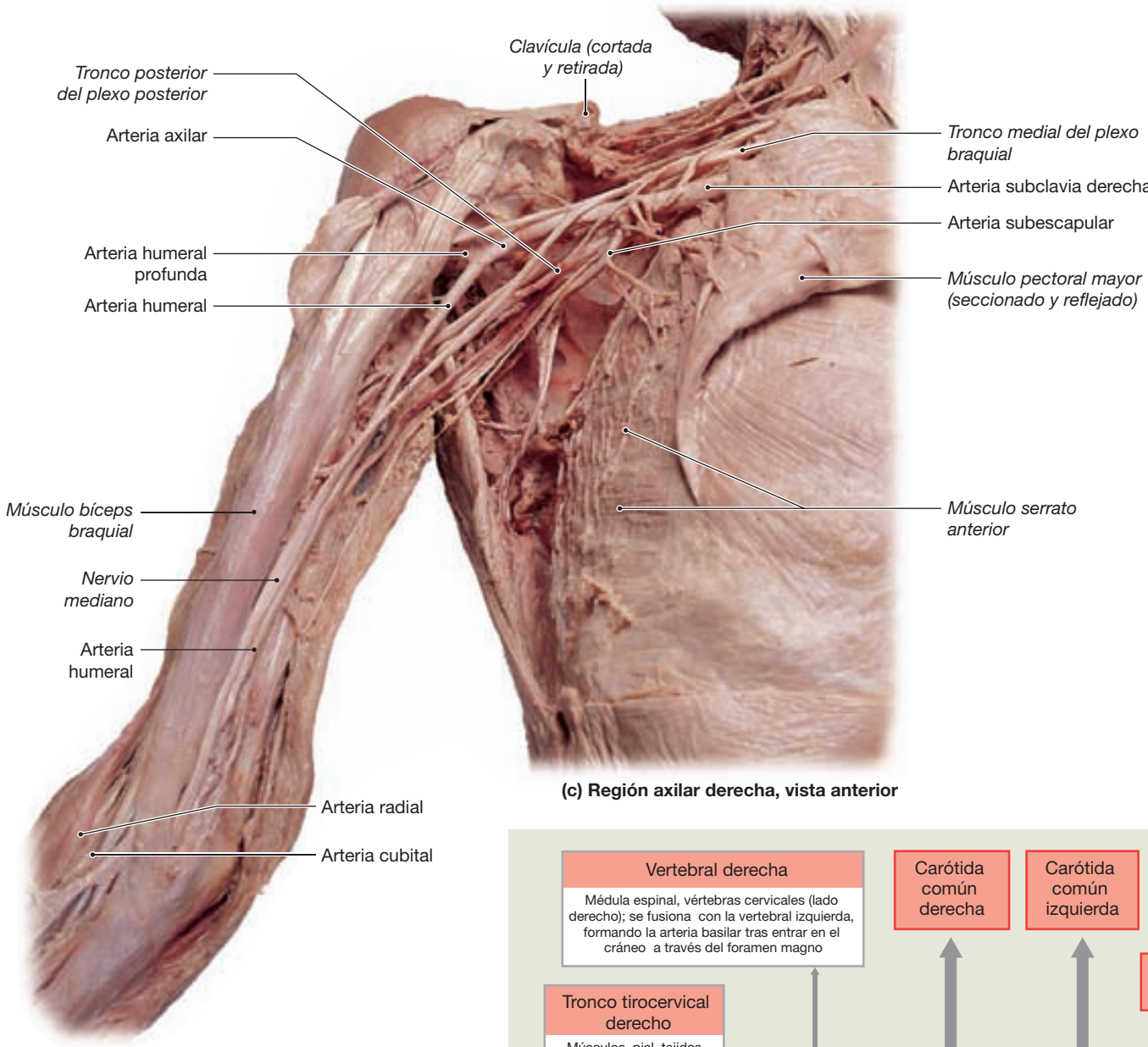
Figura 22.11 Angiografía aórtica
Esta angiografía muestra la aorta ascendente, el cayado aórtico, la aorta descendente, el tronco braquiocefálico (ramificándose en las arterias subclavia derecha y carótida común derecha) y las arterias subclavia y carótida común izquierdas.



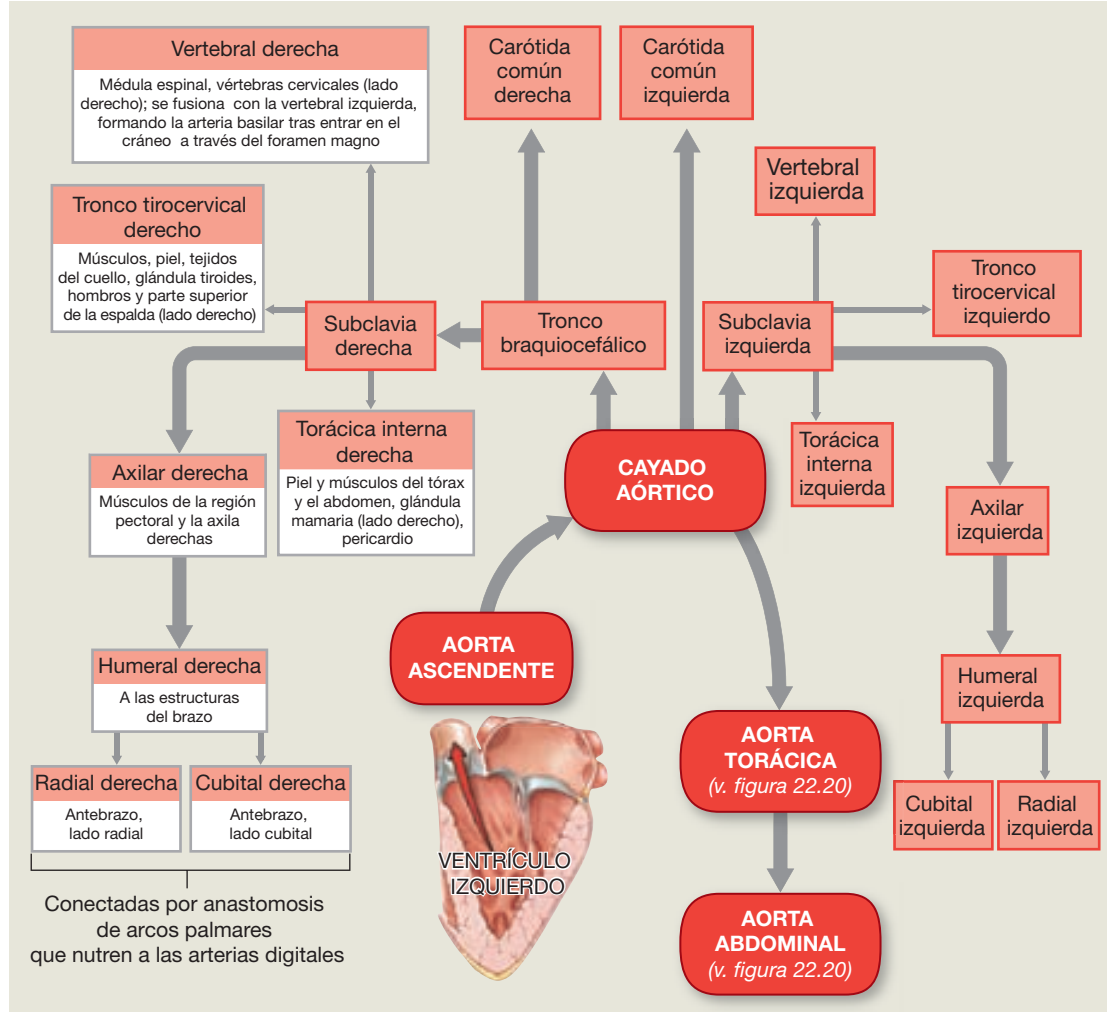
(a) Arterias del tórax y el miembro superior

(b) Antebrazo derecho, vista anterior

Figura 22.12 Arterias del tórax y del miembro superior
(a) Se muestran las arterias que se originan a lo largo del arco aórtico ramificándose en el tórax y el miembro superior derecho. **(b)** Vista anterior del antebrazo derecho, disecado para mostrar las arterias principales.

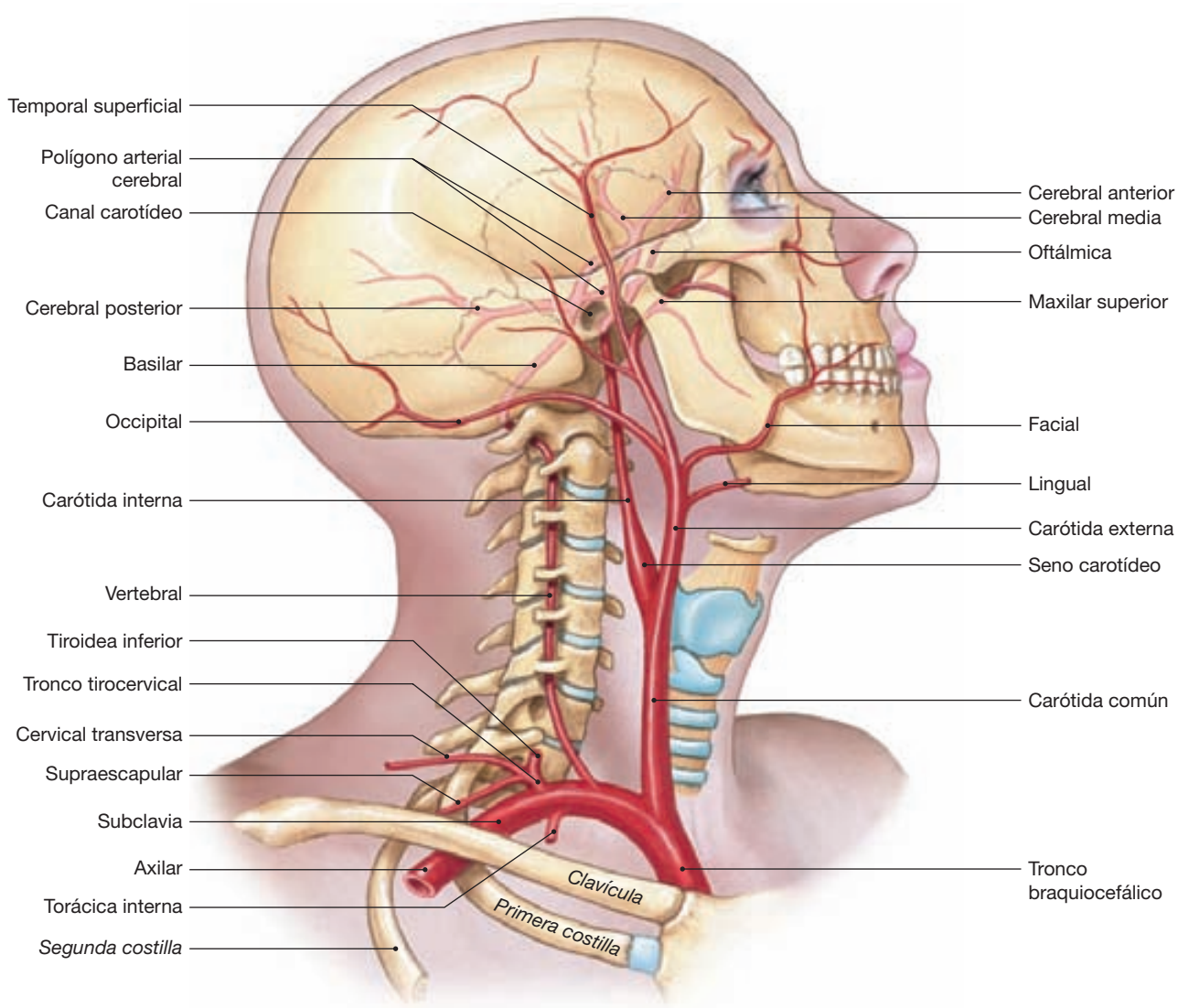


(c) Región axilar derecha, vista anterior

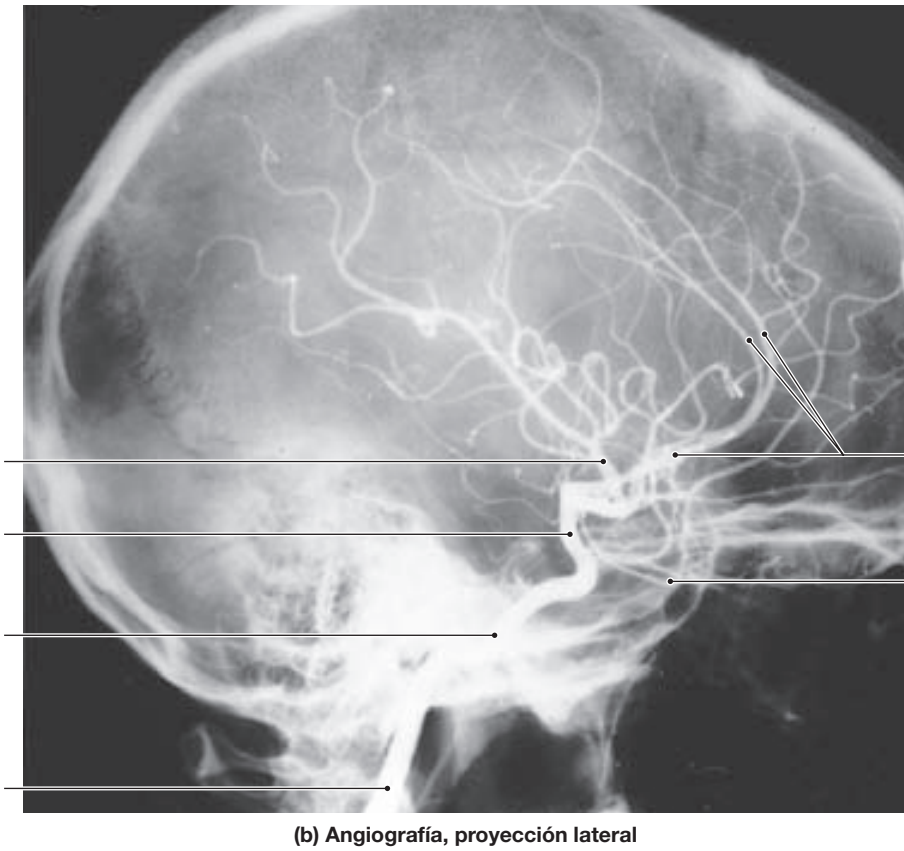

Vertebral derecha
Médula espinal, vértebras cervicales (lado derecho); se fusiona con la vertebral izquierda, formando la arteria basilar tras entrar en el cráneo a través del foramen magno
Carótida común derecha
Carótida común izquierda
Vertebral izquierda
Tronco tirocervical derecho
Músculos, piel, tejidos del cuello, glándula tiroides, hombros y parte superior de la espalda (lado derecho)
Subclavia derecha
Tronco braquiocefálico
Subclavia izquierda
Tronco tirocervical izquierdo
Torácica interna derecha
Piel y músculos del tórax y el abdomen, glándula mamaria (lado derecho), pericardio
Axilar derecha
Músculos de la región pectoral y la axila derechas
CAYADO AÓRTICO
Torácica interna izquierda
Axilar izquierda
AORTA ASCENDENTE
Humeral derecha
A las estructuras del brazo
Humeral izquierda
AORTA TORÁCICA (v. figura 22.20)
Radial derecha
Antebrazo, lado radial
Cubital derecha
Antebrazo, lado cubital
Cubital izquierda
Radial izquierda
VENTRÍCULO IZQUIERDO
Conectadas por anastomosis de arcos palmares que nutren a las arterias digitales
AORTA ABDOMINAL (v. figura 22.20)

(d) Resumen de la distribución arterial a partir del cayado aórtico

Figura 22.12 ***(cont.)***
(c) Vista anterior de la región axilar derecha disecada para mostrar los vasos sanguíneos y los nervios de esta región. **(d)** Diagrama que muestra la distribución arterial a partir del cayado aórtico. Las flechas gruesas muestran las rutas principales del flujo sanguíneo; las flechas finas muestran la distribución a vías secundarias o terminales.



(a) Arterias de la cabeza y el cuello, una proyección oblicua lateral desde el lado derecho


Arteria cerebral media y sus ramas
Arteria cerebral
Arteria carótida interna tras entrar en el cráneo
Arteria carótida interna antes de entrar en el cráneo
Arteria cerebral anterior y sus ramas
Arteria oftálmica

(b) Angiografía, proyección lateral

Figura 22.13 Arterias de la cabeza y el cuello
(a) Patrón general de la circulación de las arterias que irrigan el cuello y las estructuras superficiales de la cabeza; se trata de una imagen oblicua lateral desde el lado derecho.
(b) Angiografía que muestra las arterias carótidas internas y sus ramas intracraneales.

van la sangre al antebrazo. En la muñeca, estas arterias se anastomosan para formar un **arco palmar superficial** y un **arco palmar profundo,** los cuales aportan la sangre a la palma y a las **arterias digitales** del pulgar y de los dedos, respectivamente.

Arterias carótidas y aporte sanguíneo al cerebro [v. figuras 22.13 a 22.15] Las arterias carótidas comunes ascienden en la profundidad de los tejidos del cuello. Se puede localizar habitualmente la arteria carótida común ejerciendo una presión suave a lo largo de cualquier lado de la tráquea hasta que se note un pulso intenso. Cada arteria carótida común se divide a nivel de la laringe en las arterias **carótida externa** y **carótida interna.** El **seno carotídeo,** localizado en la base de la arteria carótida interna, puede extenderse a lo largo de un segmento de la arteria carótida común (**v. figuras 22.13a** y **22.14**). El seno carotídeo contiene barorreceptores y quimiorreceptores implicados en la regulación cardiovascular [p. 475]. Las arterias carótidas externas suministran sangre para las estructuras del cuello, la faringe, el esófago, la laringe, la mandíbula y la cara. Las arterias carótidas internas entran al cráneo a través de los *canales carotídeos* de los huesos temporales, llevando la sangre para el cerebro [p. 139]. Cada arteria carótida interna asciende hasta el nivel de los nervios ópticos, donde se divide en tres ramas: 1) la **arteria oftálmica,** que irriga las órbitas; 2) la **arteria cerebral anterior,** que irriga los lóbulos frontal y parietal del cerebro, y 3) la **arteria cerebral media,** que nutre el mesencéfalo y las superficies laterales de los hemisferios cerebrales (**v. figuras 22.13** y **22.15**).

El cerebro es extremadamente sensible a los cambios en el aporte circulatorio. Una interrupción de la circulación durante varios segundos producirá la pérdida de conciencia, y tras 4 minutos se producirá un daño neurológico permanente. Tales crisis circulatorias son raras, porque la sangre alcanza el cerebro a través de las arterias vertebrales y las arterias carótidas internas. Las arterias vertebrales se originan de las arterias subclavias y ascienden a través de los *agujeros transversos* de las vértebras cervicales [pp. 163-165]. Las arterias vertebrales entran en el cráneo a través del agujero occipital, fusionándose a lo largo de la superficie ventral del bulbo raquídeo para formar la **arteria basilar.** La arteria basilar continúa sobre la superficie ventral del cerebro a lo largo de la protuberancia, ramificándose varias veces antes de dividirse en las **arterias cerebrales posteriores.** Las **arterias comunicantes posteriores** se originan desde las arterias cerebrales posteriores (**v. figuras 22.13a** y **22.15a,b**).

Las arterias carótidas internas normalmente originan las arterias de la mitad anterior del cerebro, mientras que el resto del cerebro recibe san-

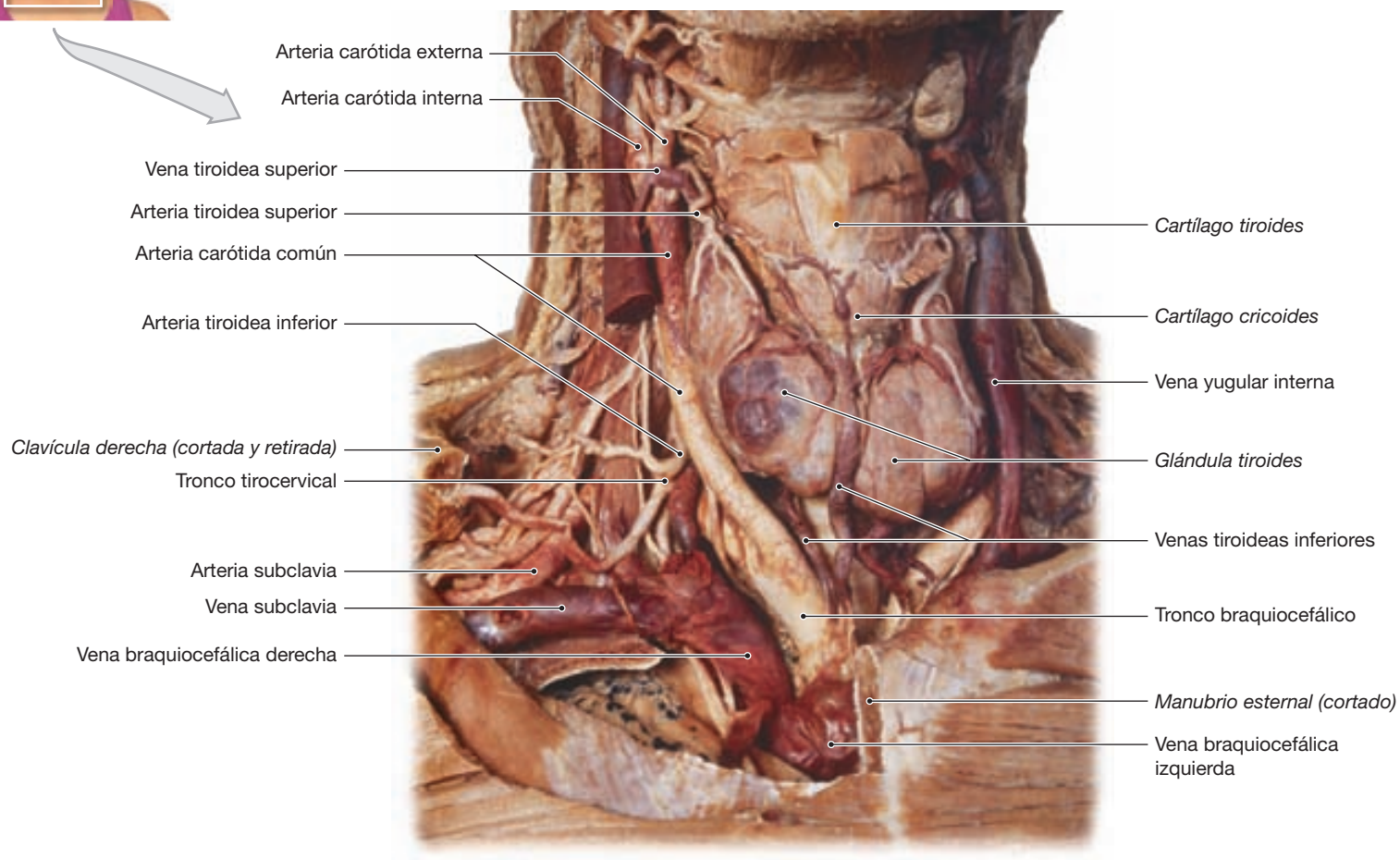
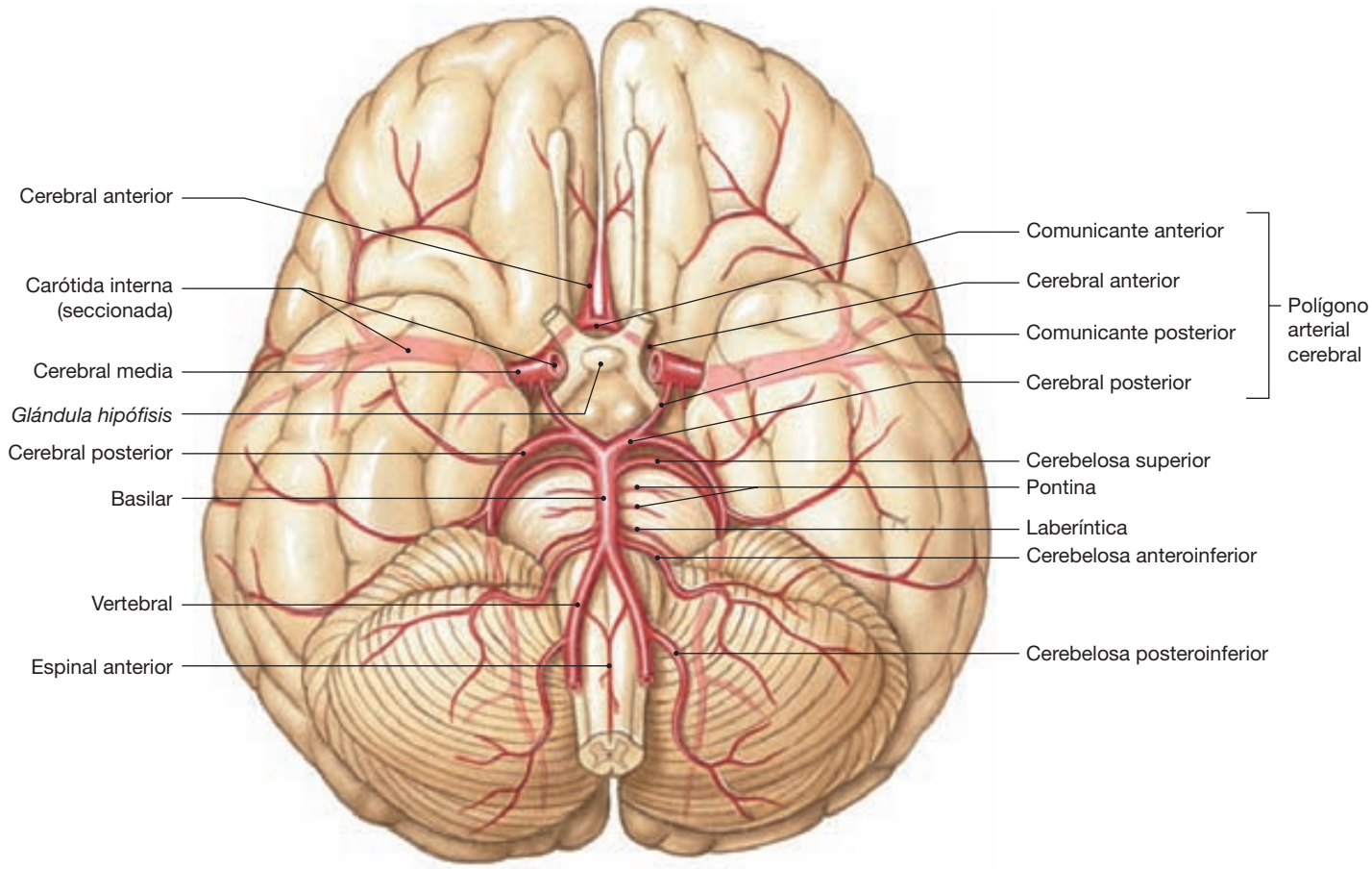
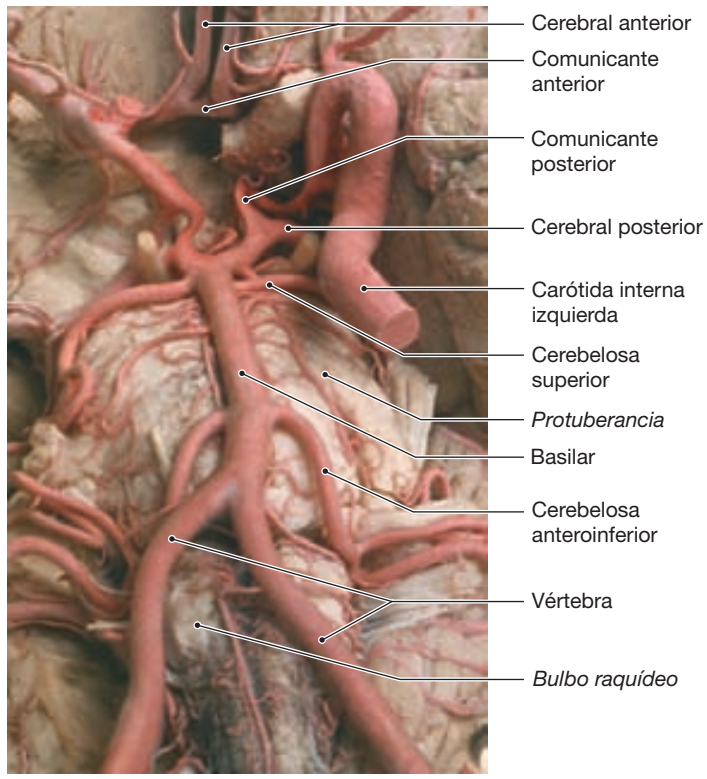


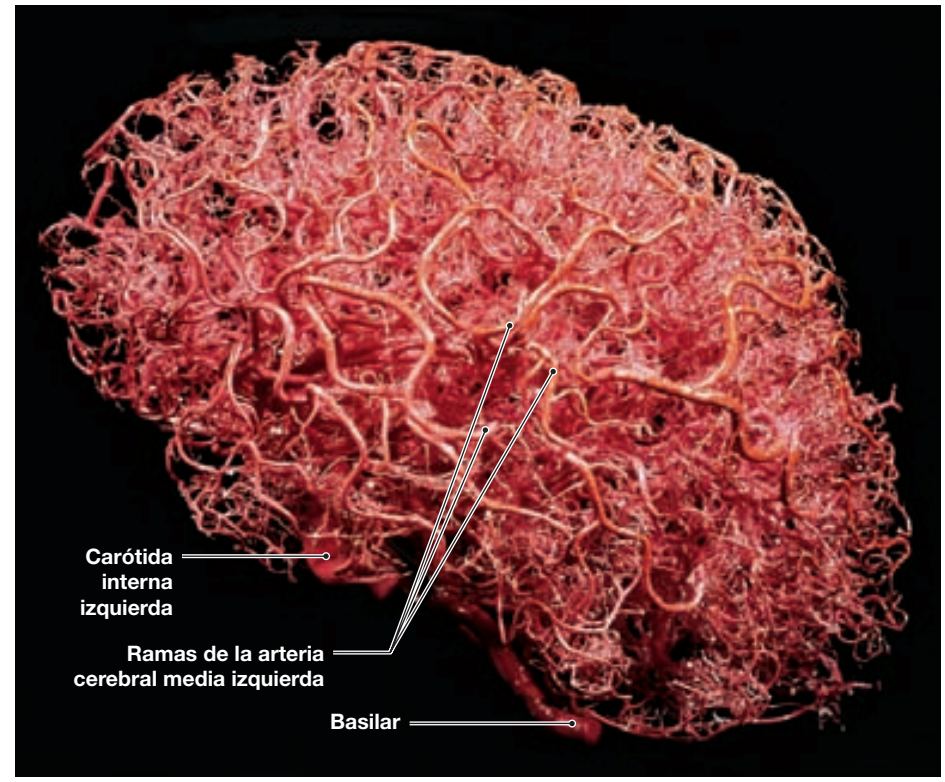
Figura 22.14 Arterias principales del cuello
Esta disección del cuello anterior muestra la posición y el aspecto de las principales arterias de esta región. En esta disección se han extirpado parte de la clavícula derecha, la primera costilla y el manubrio esternal, conjuntamente con la parte inferior de la vena yugular interna derecha.



(a) Arterias del encéfalo, vista inferior



(b) Arterias inyectadas para demostrar el polígono arterial cerebral



(c) Molde de corrosión de las arterias cerebrales, hemisferio cerebral izquierdo

Figura 22.15 Irrigación arterial del cerebro

(a) Una vista inferior del cerebro, mostrando la distribución de las arrterias. *Véase figura 22.22b* una imagen equivalente de las venas de la superficie cerebral inferior. **(b)** Las arterias de la superficie inferior del cerebro; se han inyectado los vasos con látex rojo, para facilitar su visualización. **(c)** Una vista lateral de las arterias que irrigan el cerebro. Se trata de un molde de corrosión: se ha inyectado látex en los vasos y posteriormente se ha disuelto y eliminado el tejido cerebral con un baño ácido.

gre de las arterias vertebrales. Pero este patrón circulatorio puede cambiar fácilmente, porque las arterias carótidas internas y la arteria basilar están interconectadas por anastomosis en forma de polígono, el **polígono arterial cerebral,** o *polígono de Willis*, que rodea el infundíbulo de la glándula hipofisaria (v. figura 22.15a,b). Dada esta disposición, el encéfalo puede recibir sangre de cualquiera o de ambas fuentes arteriales, carotídeas o vertebrales, y las posibilidades de una interrupción grave de la circulación se reducen.

Aorta descendente [v. figuras 22.10/22.16/22.20] Continuando el cayado aórtico se encuentra la **aorta descendente.** El diafragma divide la aorta descendente en una **aorta torácica** superior y una **aorta abdominal** inferior (v. figura 22.10, p. 581). En la figura 22.20, p. 593, se presenta un resumen de la distribución de la sangre a partir de la aorta descendente. Las tributarias de la aorta torácica se muestran en la figura 22.16.

Aorta torácica [v. figura 22.16] La aorta torácica comienza a nivel de la vértebra T_5 y atraviesa el diafragma a nivel de la vértebra T_{12} (v. figura 22.16). La aorta torácica se encuentra dentro del mediastino, sobre la pared torácica dorsal, ligeramente a la izquierda de la columna vertebral. Lleva sangre a ramas que irrigan las vísceras del tórax, los músculos del tórax y el diafragma y el segmento torácico de la médula espinal. Las ramas de la aorta torácica se agrupan anatómicamente bien como *ramas viscerales* o como *ramas parietales*. Las ramas viscerales irrigan los órganos del tórax: las **arterias bronquiales** nutren

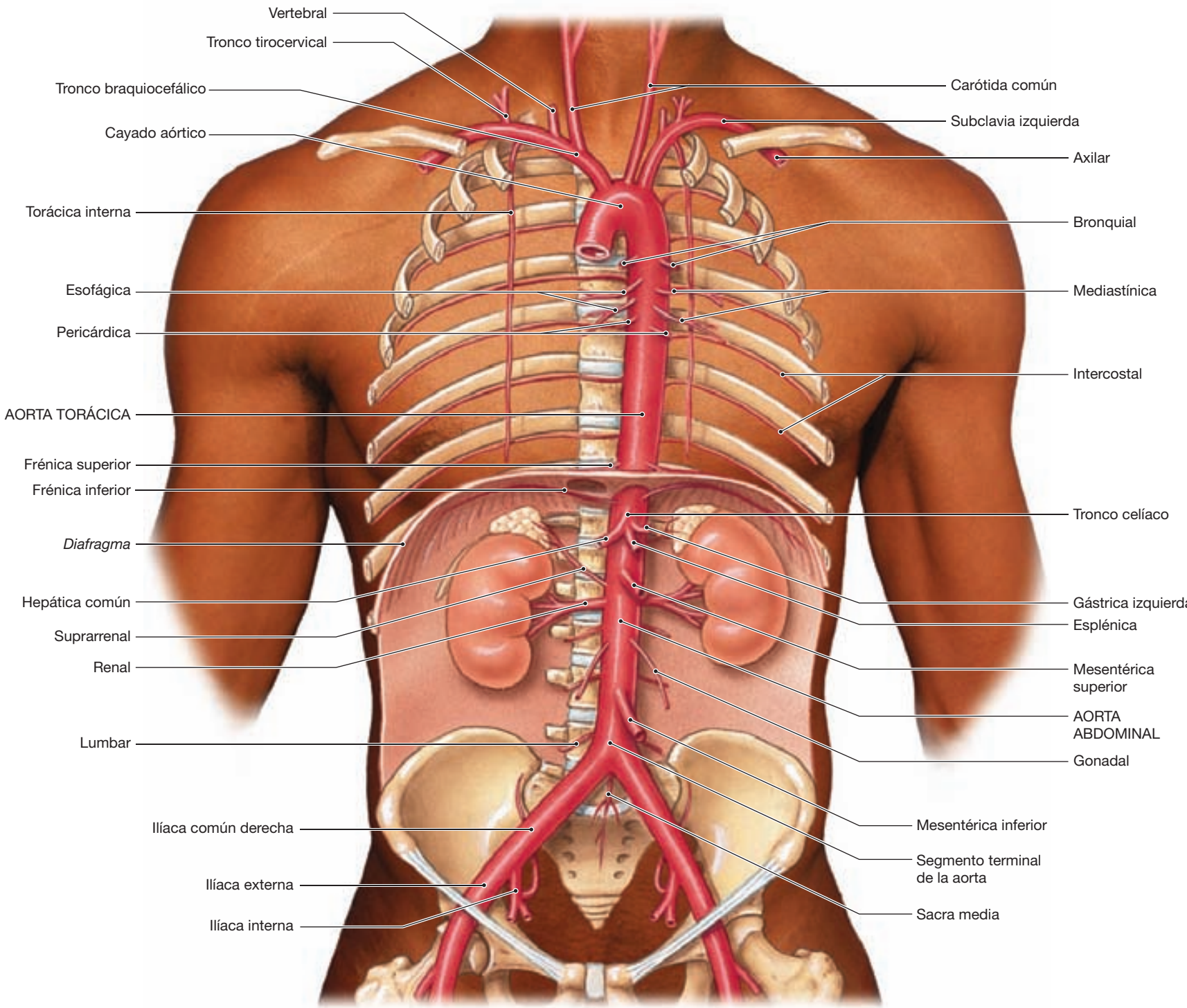
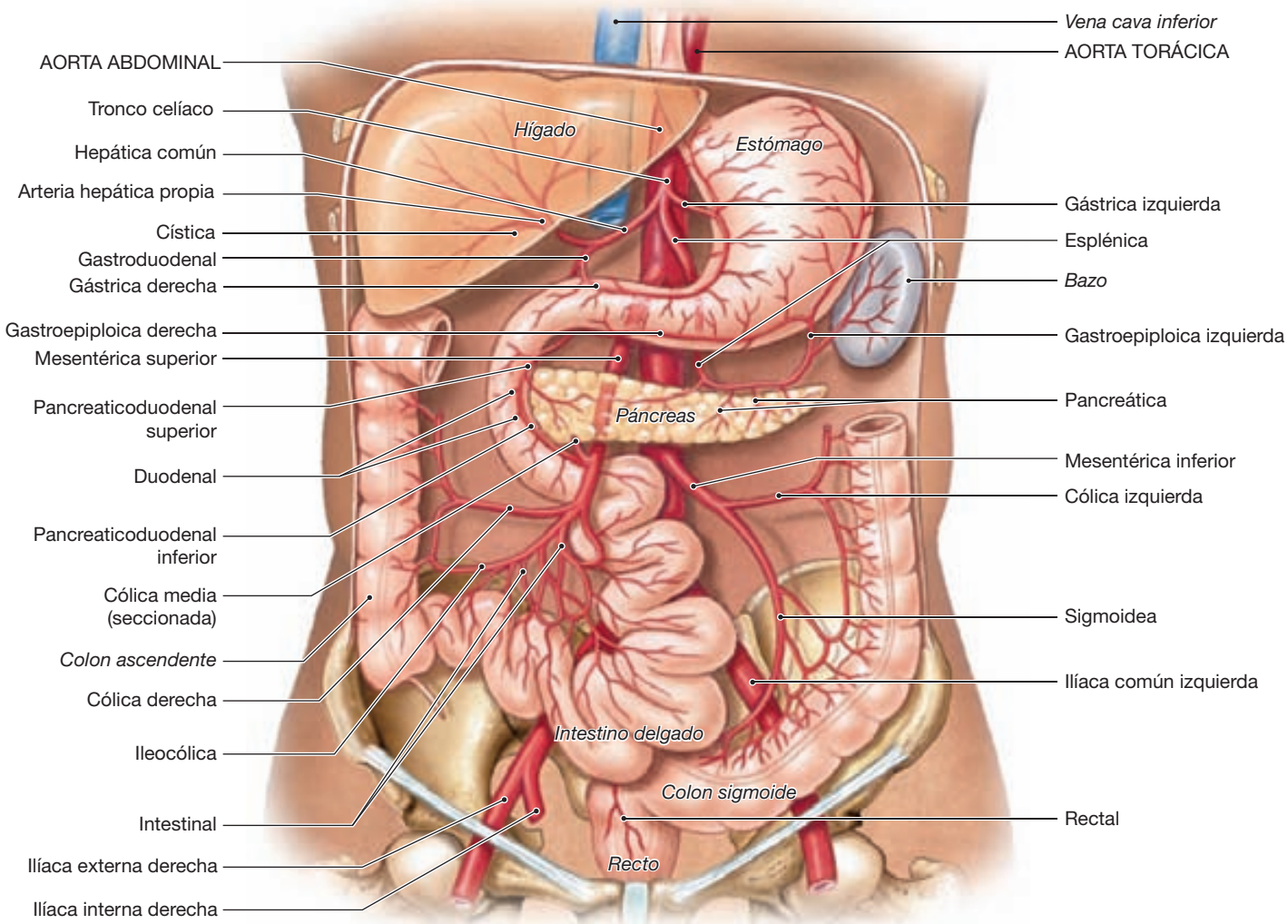
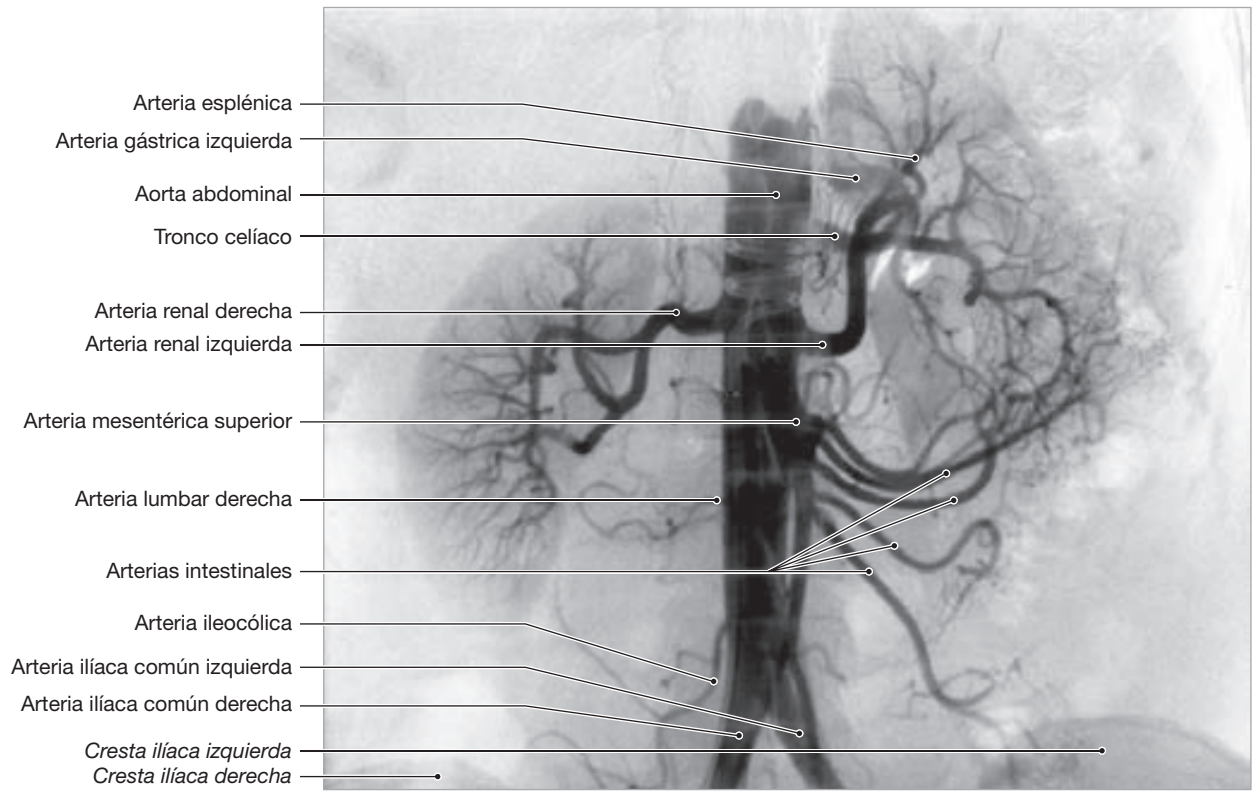


Figura 22.16 **Principales arterias del tronco**



(a) Arterias que irrigan los órganos abdominales (vista anterior)



(b) Angiografía de la aorta abdominal

Figura 22.17 Arterias del abdomen

(a) Las principales arterias que irrigan las vísceras abdominales. **(b)** Angiografía de la aorta abdominal que muestra las arterias viscerales y de los riñones (proyección anterior/posterior).

las vías de conducción hacia los pulmones, las **arterias pericárdicas** irrigan el pericardio, las **arterias mediastínicas** irrigan las estructuras mediastínicas en general y las **arterias esofágicas** nutren el esófago. Las ramas parietales irrigan la pared torácica: las **arterias intercostales** nutren los músculos torácicos y el área de la columna vertebral, y las **arterias frénicas superiores** llevan sangre a la superficie superior del diafragma muscular que separa las cavidades torácica y abdominopélvica.

Aorta abdominal [v. figuras 22.16/22.17] Comenzando inmediatamente por debajo del diafragma se encuentra la aorta abdominal (**v. figuras 22.16** y **22.17**). La aorta abdominal desciende ligeramente a la izquierda de la columna vertebral, pero posterior a la cavidad peritoneal; se encuentra a menudo rodeada por una almohadilla de tejido adiposo. A nivel de la vértebra L_4 la aorta abdominal se bifurca en las *arterias ilíacas comunes derecha* e *izquierda*, las cuales nutren las estructuras pélvicas profundas y los miembros inferiores. La región donde la aorta se divide es conocida como el **segmento terminal de la aorta.**

La aorta abdominal lleva sangre a todos los órganos y estructuras abdominopélvicos. Las principales ramas de los órganos viscerales no son pares y se originan en la superficie anterior de la aorta abdominal y se extienden hacia el mesenterio para alcanzar los órganos viscerales. Las ramas para la pared corporal, los riñones y otras estructuras externas a la cavidad peritoneal son pares, y se originan a lo largo de las superficies laterales de la aorta abdominal. En la **figura 22.16** se muestran las principales arterias del tronco, con los órganos torácicos y abdominales extirpados.

Hay tres arterias impares: 1) el *tronco celíaco*; 2) la *arteria mesentérica superior,* y 3) la *arteria mesentérica inferior* (**v. figuras 22.16** y **22.17**)

1. El **tronco celíaco** lleva sangre al hígado, estómago, esófago, vesícula, duodeno, páncreas y bazo. El tronco celíaco se divide en tres ramas:
   - La **arteria gástrica izquierda,** que irriga el estómago y el segmento inferior del esófago.
   - La **arteria esplénica,** que irriga el bazo y origina arterias para el estómago *(arteria gastroepiploica izquierda)* y el páncreas *(arterias pancreáticas).*
   - La **arteria hepática común,** que proporciona arterias para el hígado *(arteria hepática propia),* estómago *(arteria gástrica derecha),* vesícula *(arteria cística)* y área duodenal *(arterias gastroduodenal, gastroepiploica derecha* y *pancreaticoduodenal superior).*
2. La **arteria mesentérica superior** se origina aproximadamente 2,5 cm por debajo del tronco celíaco para proporcionar arterias para el páncreas y el duodeno *(arteria pancreaticoduodenal inferior),* el intestino delgado *(arterias intestinales)* y la mayor parte del intestino grueso *(arterias cólica derecha, cólica media e ileocólica).*
3. La **arteria mesentérica inferior** surge aproximadamente 5 cm superior al segmento terminal de la aorta y lleva sangre a los segmentos terminales del colon *(arterias cólica izquierda* y *sigmoidea)* y el recto *(arterias rectales).*

Hay cinco arterias pares: 1) las frénicas inferiores; 2) las suprarrenales; 3) las renales; 4) las gonadales, y 5) las lumbares.

1. Las **arterias frénicas inferiores** nutren la superficie inferior del diafragma y la parte inferior del esófago.
2. Las **arterias suprarrenales** se originan a ambos lados de la aorta cerca de la base de la arteria mesentérica superior. Cada arteria suprarrenal irriga la glándula suprarrenal, la cual cubre la parte superior del riñón.
3. Las cortas **arterias renales** (aproximadamente 7,5 cm) se originan a lo largo de la superficie posterolateral de la aorta abdominal, aproximadamente 2,5 cm por debajo de la arteria mesentérica superior, y se dirigen posteriores al peritoneo hasta alcanzar las glándulas suprarrenales y los riñones. Las ramas de las arterias renales se comentan en el capítulo 26.
4. Las **arterias gonadales** se originan entre las arterias mesentéricas superior e inferior. En los hombres se las denomina *arterias testiculares* y son arterias largas y finas que llevan sangre a los testículos y el escroto. En las mujeres se las llama *arterias ováricas* y llevan sangre a los ovarios, las trompas uterinas y el útero. La distribución de los vasos gonadales (tanto arterias como venas) difiere en hombres y mujeres; en el capítulo 27 se describen las diferencias.
5. Las pequeñas **arterias lumbares** se originan en la superficie posterior de la aorta y nutren las vértebras, la médula espinal y la pared abdominal.

Arterias de la pelvis y los miembros inferiores [v. figuras 22.16/22.18/22.19] Cerca del nivel de la vértebra L_4, el segmento terminal de la aorta abdominal se divide formando dos arterias musculares, las **arterias ilíacas comunes derecha** e **izquierda** y la pequeña **arteria sacra media.** Estas arterias transportan sangre a la pelvis y los miembros inferiores (**v. figuras 22.16, 22.18** y **22.19**). A medida que estas arterias discurren a lo largo de la superficie interna del ilíaco, descienden posteriores al ciego y al colon sigmoide y, a nivel de la unión lumbosacra, cada ilíaca común se divide para formar una **arteria ilíaca interna** y una **arteria ilíaca externa.** Las arterias ilíacas internas entran en la cavidad pélvica para irrigar la vejiga urinaria, las paredes interna y externa de la pelvis, los genitales externos y la parte medial del muslo. Las tributarias principales de la arteria ilíaca interna son las *arterias glútea superior, pudenda interna, obturatriz* y *sacra lateral.* En las mujeres, estos vasos también irrigan el útero y la vagina. Las arterias ilíacas externas aportan sangre a los miembros inferiores y tienen un diámetro mucho mayor que las arterias ilíacas internas.

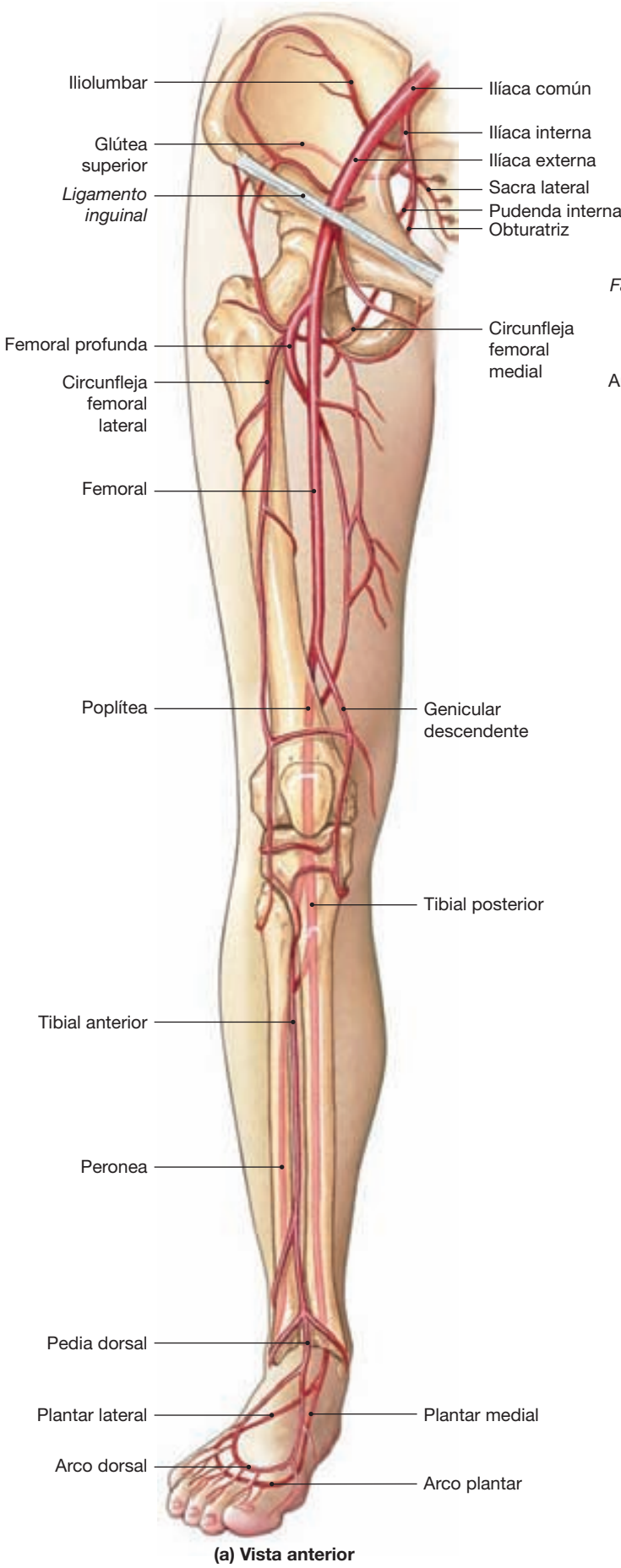
Arterias del muslo y de la pierna [v. figuras 22.18/22.19] La arteria ilíaca externa atraviesa la superficie del músculo iliopsoas y entra en la pared abdominal a mitad de camino entre la espina ilíaca anterosuperior y la sínfisis del pubis. Emerge en la superficie anteromedial del muslo como **arteria femoral** y aproximadamente 5 cm distal a su aparición de su superficie lateral se ramifica la **arteria femoral profunda** (**v. figura 22.18**). La arteria femoral profunda, que da origen a las *arterias circunflejas medial* y *lateral*, aporta sangre para las regiones ventral y lateral de la piel y los músculos profundos del muslo.

La arteria femoral continúa en sentido inferior y posterior hacia el fémur. A medida que alcanza la fosa poplítea, da origen a una rama, la **arteria genicular descendente,** que nutre la parte medial de la rodilla. La arteria femoral continúa y, cuando pasa a través del músculo aductor magno, se convierte en **arteria poplítea** (**v. figura 22.19**). La arteria poplítea atraviesa la fosa poplítea antes de ramificarse en las **arterias tibial posterior** y **tibial anterior.** La arteria tibial posterior da origen a la **arteria fibular** o *peronea,* y continúa en sentido inferior a lo largo de la superficie posterior de la tibia. La arteria tibial anterior cruza entre la tibia y el peroné, apareciendo en la superficie anterior de la tibia. A medida que desciende hacia el pie, la arteria tibial anterior aporta sangre para la piel y los músculos de la zona anterior de la pierna.

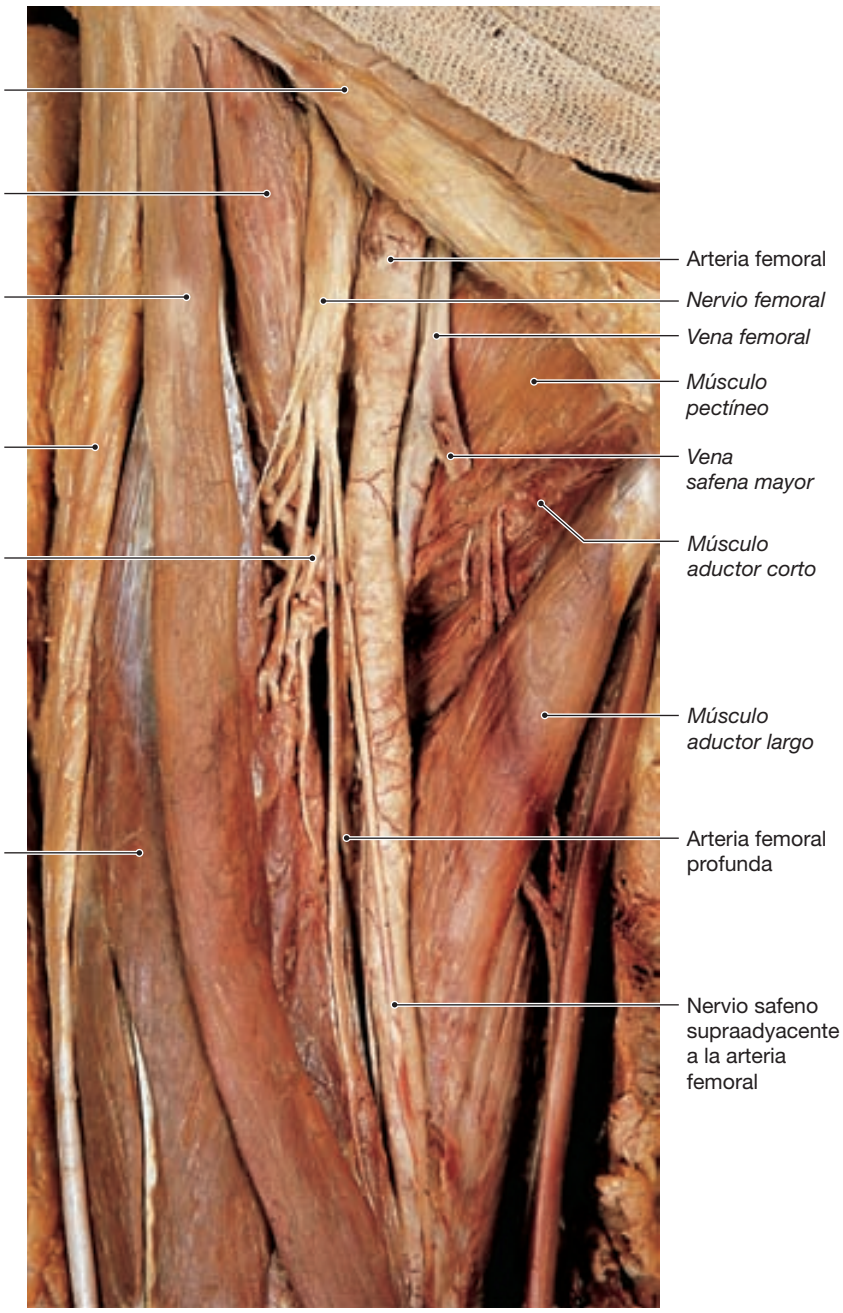
Arterias del pie [v. figuras 22.18/22.20] Cuando la arteria tibial anterior alcanza el tobillo, se convierte en la **arteria pedia dorsal.** La pedia dorsal se ramifica repetidamente, irrigando el tobillo y la parte dorsal del pie (**v. figura 22.18**).

A medida que alcanza el tobillo, la arteria tibial posterior se divide para formar las **arterias plantares medial** y **lateral,** las cuales aportan sangre para la superficie plantar del pie. Las arterias plantares medial y lateral están conectadas con la arteria pedia dorsal mediante un par de anastomosis. Esta conexión une el **arco dorsal** *(arco arciforme)* con el **arco plantar.** Pequeñas arterias originadas en estas arcadas nutren las regiones distales del pie y los dedos.

Antes de seguir adelante, revise la **figura 22.20**, en la que se resume la distribución de la sangre a partir de los segmentos torácico, abdominal y terminal de la aorta.

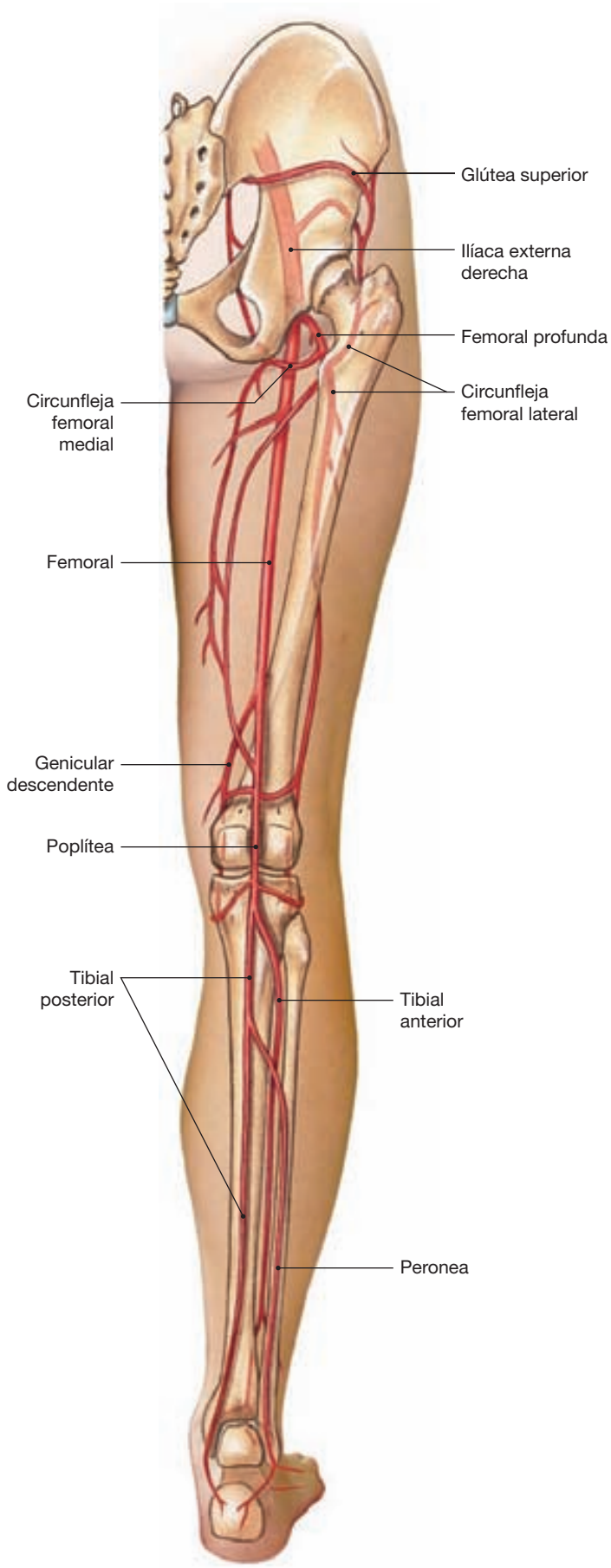


(a) Vista anterior



(b) Vasos femorales

Figura 22.18 Principales arterias del miembro inferior, parte I
(a) Vista anterior de las arterias que irrigan el miembro inferior derecho. **(b)** Principales arterias del muslo derecho.



(a) Vista posterior

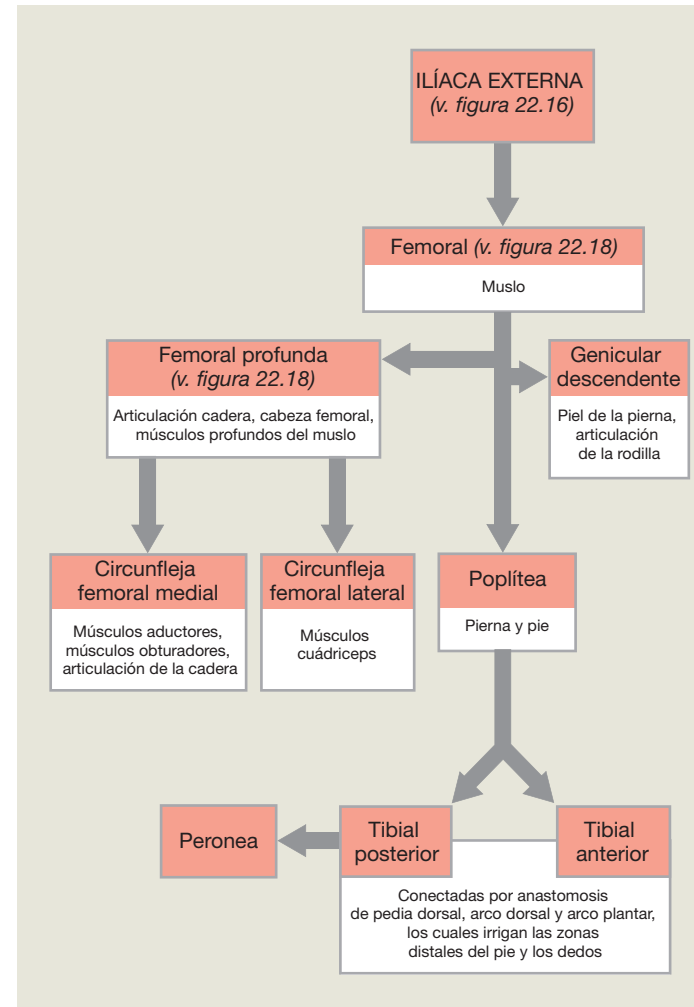
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué regiones del cuerpo reciben sangre de las arterias carótidas?
2. ¿Qué arteria se encuentra en la región del bíceps del brazo derecho?
3. ¿En qué arteria se convierte la arteria ilíaca externa tras abandonar la cavidad abdominal?
4. ¿Produciría una lesión de las arterias carótidas internas siempre un daño cerebral? ¿Por qué?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Venas sistémicas [v. figuras 22.10/22.21]

Las venas recogen la sangre de los tejidos y órganos corporales en una elaborada red venosa que drena en la aurícula derecha del corazón a través de la vena cava superior y la inferior (**v. figura 22.21**). Una comparación entre las **figuras 22.21** y **22.10** pone de manifiesto que las arterias y las venas típicamente discurren en paralelo y que en muchos casos tienen nombres comparables. Por ejemplo, las arterias axilares discurren en paralelo con las venas axilares. Además, las arterias y las venas viajan a menudo acompañadas de nervios periféricos que tienen los mismos nombres e inervan las mismas estructuras [p. 373].


ILÍACA EXTERNA
(v. figura 22.16)
Femoral (v. figura 22.18)
Muslo
Femoral profunda
(v. figura 22.18)
Articulación cadera, cabeza femoral, músculos profundos del muslo
Genicular descendente
Piel de la pierna, articulación de la rodilla
Circunfleja femoral medial
Músculos aductores, músculos obturadores, articulación de la cadera
Circunfleja femoral lateral
Músculos cuádriceps
Poplítea
Pierna y pie
Peronea
Tibial posterior
Tibial anterior
Conectadas por anastomosis de pedia dorsal, arco dorsal y arco plantar, los cuales irrigan las zonas distales del pie y los dedos

(b) Principales arterias del miembro inferior

Figura 22.19 Principales arterias del miembro inferior, parte II

(a) Vista posterior de las arterias que irrigan el miembro inferior derecho. **(b)** Un resumen de las principales arterias del miembro inferior.

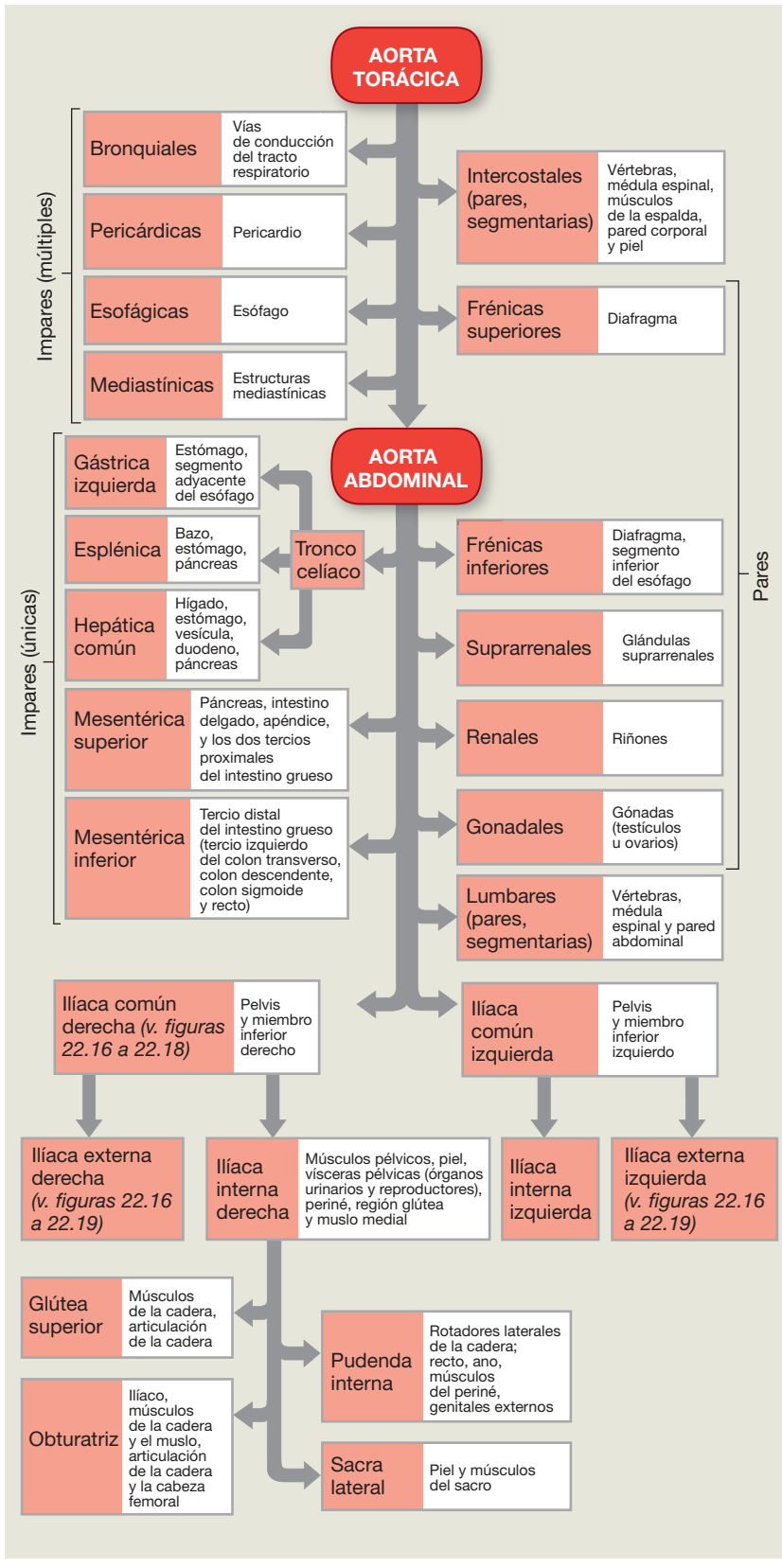

AORTA TORÁCICA
Impares (múltiples)
Bronquiales
Vías de conducción del tracto respiratorio
Pericárdicas
Pericardio
Esofágicas
Esófago
Mediastínicas
Estructuras mediastínicas
Intercostales (pares, segmentarias)
Vértebras, médula espinal, músculos de la espalda, pared corporal y piel
Frénicas superiores
Diafragma
Pares
AORTA ABDOMINAL
Impares (únicas)
Gástrica izquierda
Estómago, segmento adyacente del esófago
Esplénica
Bazo, estómago, páncreas
Hepática común
Hígado, estómago, vesícula, duodeno, páncreas
Tronco celíaco
Mesentérica superior
Páncreas, intestino delgado, apéndice, y los dos tercios proximales del intestino grueso
Mesentérica inferior
Tercio distal del intestino grueso (tercio izquierdo del colon transverso, colon descendente, colon sigmoide y recto)
Frénicas inferiores
Diafragma, segmento inferior del esófago
Suprarrenales
Glándulas suprarrenales
Renales
Riñones
Gonadales
Gónadas (testículos u ovarios)
Lumbares (pares, segmentarias)
Vértebras, médula espinal y pared abdominal
Ilíaca común derecha (v. figuras 22.16 a 22.18)
Pelvis y miembro inferior derecho
Ilíaca común izquierda
Pelvis y miembro inferior izquierdo
Ilíaca externa derecha (v. figuras 22.16 a 22.19)
Ilíaca interna derecha
Músculos pélvicos, piel, vísceras pélvicas (órganos urinarios y reproductores), periné, región glútea y muslo medial
Ilíaca interna izquierda
Ilíaca externa izquierda (v. figuras 22.16 a 22.19)
Glútea superior
Músculos de la cadera, articulación de la cadera
Obturatriz
Ilíaco, músculos de la cadera y el muslo, articulación de la cadera y la cabeza femoral
Pudenda interna
Rotadores laterales de la cadera; recto, ano, músculos del periné, genitales externos
Sacra lateral
Piel y músculos del sacro

Figura 22.20 Resumen del sistema arterial
La distribución de la sangre a partir de la aorta.

Una diferencia significativa entre los sistemas arterial y venoso se refiere a la distribución de las venas principales en el cuello y los miembros. Las arterias de estas áreas no se encuentran en la superficie corporal, sino que discurren profundas, protegidas por los huesos y los tejidos blandos circundantes. Por el contrario, el cuello y los miembros suelen disponer de dos grupos de venas periféricas, uno superficial y el otro profundo. Las venas superficiales están tan próximas a la superficie que se pueden ver con facilidad. Como se encuentran tan cerca de la superficie, son puntos fáciles para la obtención de muestras sanguíneas y la mayoría de estas pruebas se llevan a cabo con sangre venosa tomada de las venas superficiales del miembro superior (habitualmente en la superficie antecubital).

Este drenaje venoso dual desempeña un papel importante en el control de la temperatura corporal. Cuando la temperatura corporal baja anormalmente, el aporte sanguíneo arterial a la piel se reduce, y las venas superficiales son puenteadas. La sangre entra en los miembros y regresa posteriormente al tronco a través de las venas profundas. Cuando hay un exceso de calor, el aporte sanguíneo cutáneo aumenta y las venas superficiales se dilatan. Este mecanismo es una razón de por qué las venas superficiales de los brazos y las piernas se vuelven prominentes durante períodos de ejercicio intenso o al estar sentados en una sauna, bañera caliente o baño de vapor.

El patrón de ramificación de las venas periféricas es mucho más variable que el de las arterias. Las rutas arteriales suelen ser directas, porque las arterias crecen en su desarrollo hacia los tejidos activos. Para cuando la sangre alcanza el sistema venoso, las presiones son bajas y variaciones en el recorrido tienen poca diferencia funcional. La exposición siguiente está basada en la disposición más habitual de las venas.

Vena cava superior [v. figuras 22.21/22.24a] Todas las venas sistémicas (excepto las venas cardíacas, que drenan en el seno coronario) drenan en la *vena cava superior* o en la *vena cava inferior*. La **vena cava superior (VCS)** recibe sangre de los tejidos y órganos de la cabeza, el cuello, el tórax, los hombros y los miembros superiores (v. figuras 22.21 y 22.24a).

Retorno venoso desde el cráneo [v. figura 22. 22] Numerosas *venas cerebrales superficiales* y *venas cerebrales internas* drenan los hemisferios cerebrales. Las **venas cerebrales superficiales** desembocan en una red de senos durales, incluyendo los *senos sagitales superior* e *inferior*, los *senos petrosos*, el *seno occipital*, los *senos transversos izquierdo* y *derecho* y el *seno recto* (v. figura 22.22). El mayor seno, el **seno sagital superior,** se encuentra en la hoz cerebral [p. 391]. La mayoría de las *venas cerebrales internas* convergen dentro del cerebro para formar la **gran vena cerebral,** que recoge la sangre del interior de los hemisferios cerebrales y los plexos coroides y la traslada al **seno recto.** Otras venas cerebrales drenan en el seno cavernoso en compañía de numerosas venas pequeñas de la órbita. La sangre de los **senos cavernosos** alcanza la vena yugular interna a través de los **senos petrosos.**

Los senos venosos convergen dentro de la duramadre en la región de la sutura lambdoidea. Los senos transversos izquierdo y derecho se forman en la **confluencia de senos** próxima a la base de la parte petrosa del hueso temporal, y cada uno drena en un **seno sigmoide,** el cual entra en el agujero yugular y abandona el cráneo como la **vena yugular interna** de ese lado. La vena yugular interna desciende en paralelo con la arteria carótida común en el cuello.

Las **venas vertebrales** drenan la médula espinal cervical y la superficie craneal posterior. Estos vasos descienden dentro de los agujeros transversos de las vértebras cervicales acompañados de las arterias vertebrales. Las venas vertebrales desembocan en las *venas braquiocefálicas* del tórax.

Venas superficiales de la cabeza y el cuello [v. figura 22.22] Las venas superficiales de la cabeza convergen para formar las **venas temporal, facial** y **maxilar superior** (v. figura 22.22). Las venas temporal y maxilar superior drenan en la **vena yugular externa.** La vena facial drena en la vena yugular interna; una amplia anastomosis entre las venas yugulares externa e interna en el ángulo de la mandíbula proporciona un drenaje venoso dual para la cara, el cuero cabelludo y el cráneo. La vena yugular externa desciende superficial al músculo esternoclei-

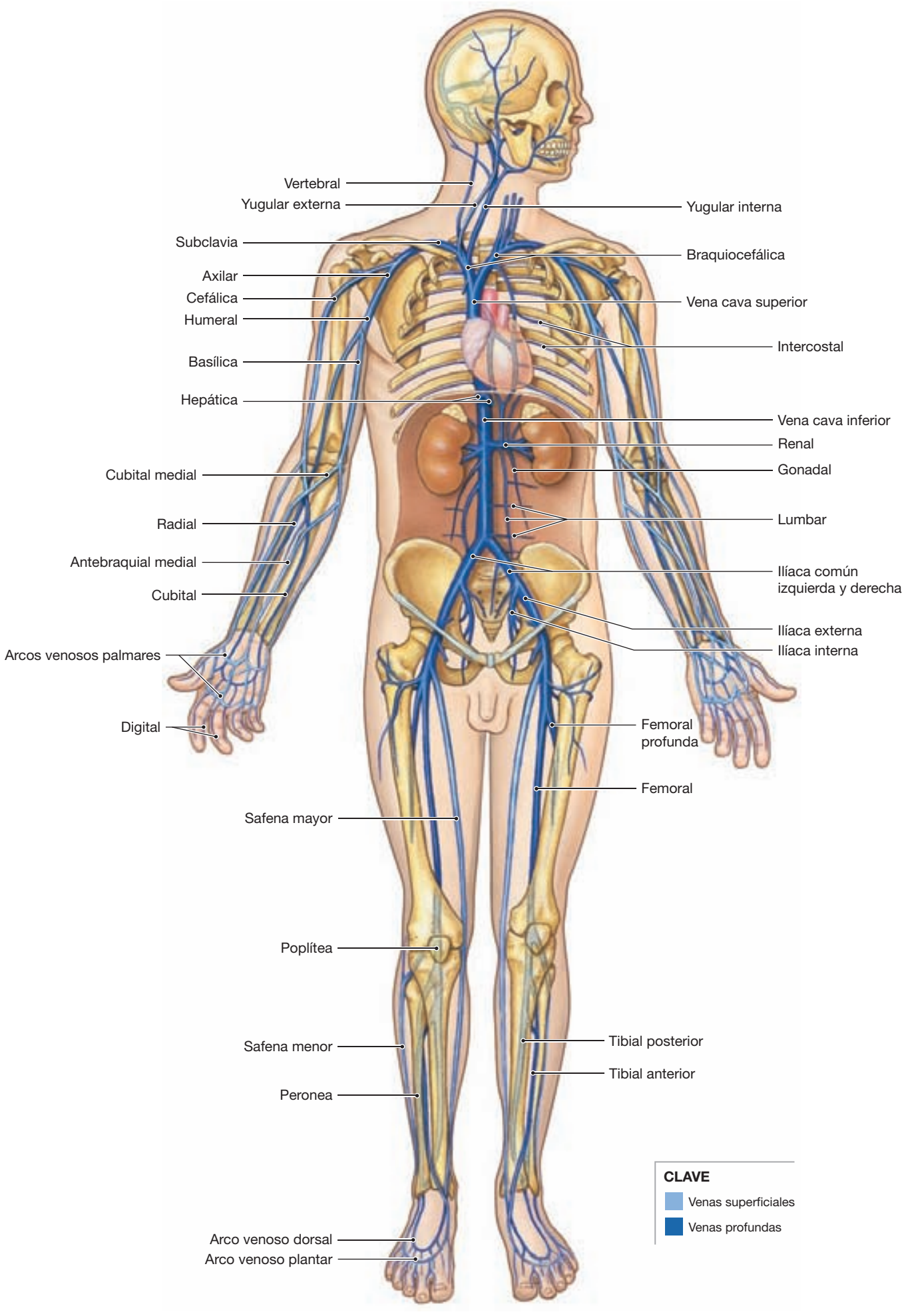
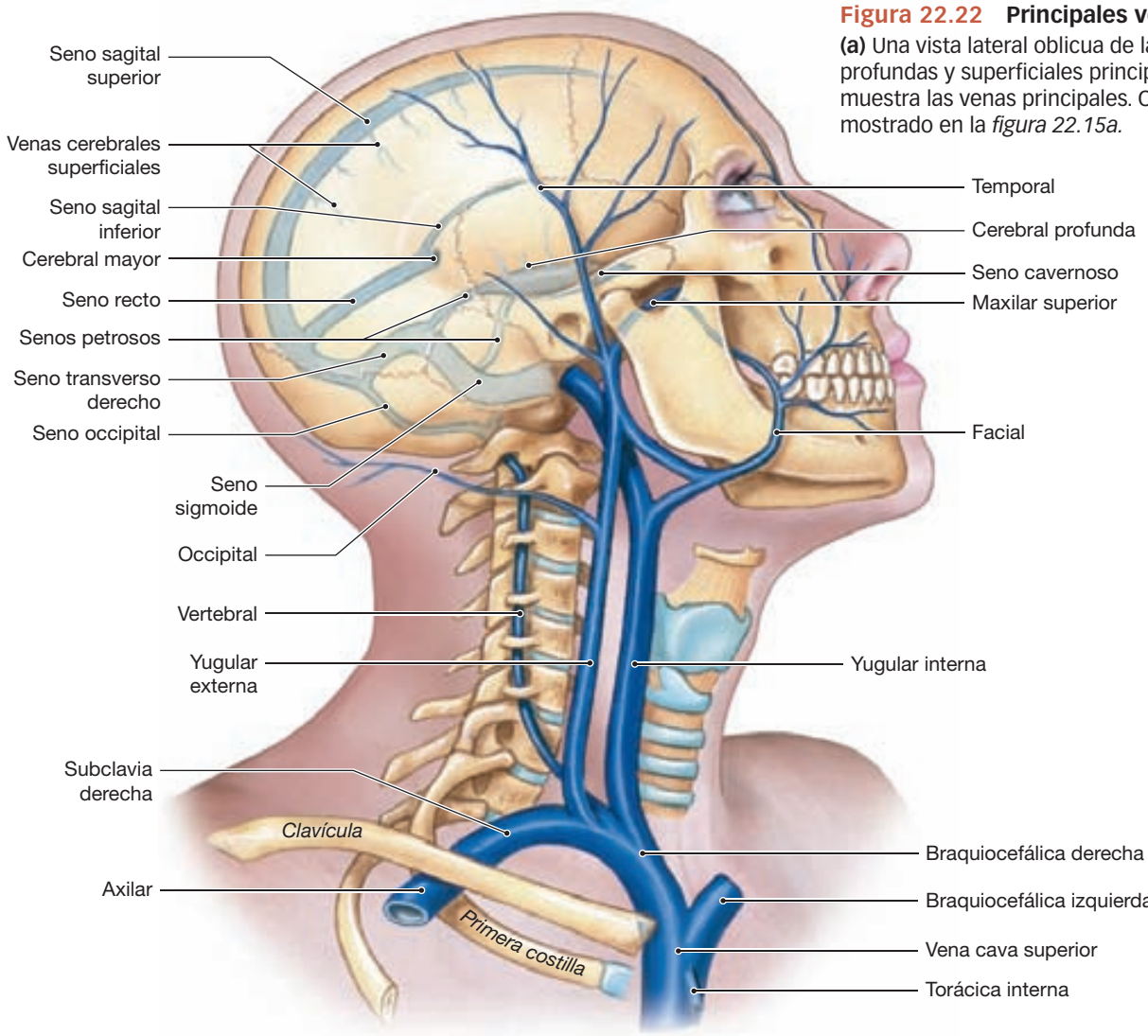


Figura 22.21 **Visión global del sistema venoso sistémico**



(a) Venas de la cabeza y el cuello, vista lateral

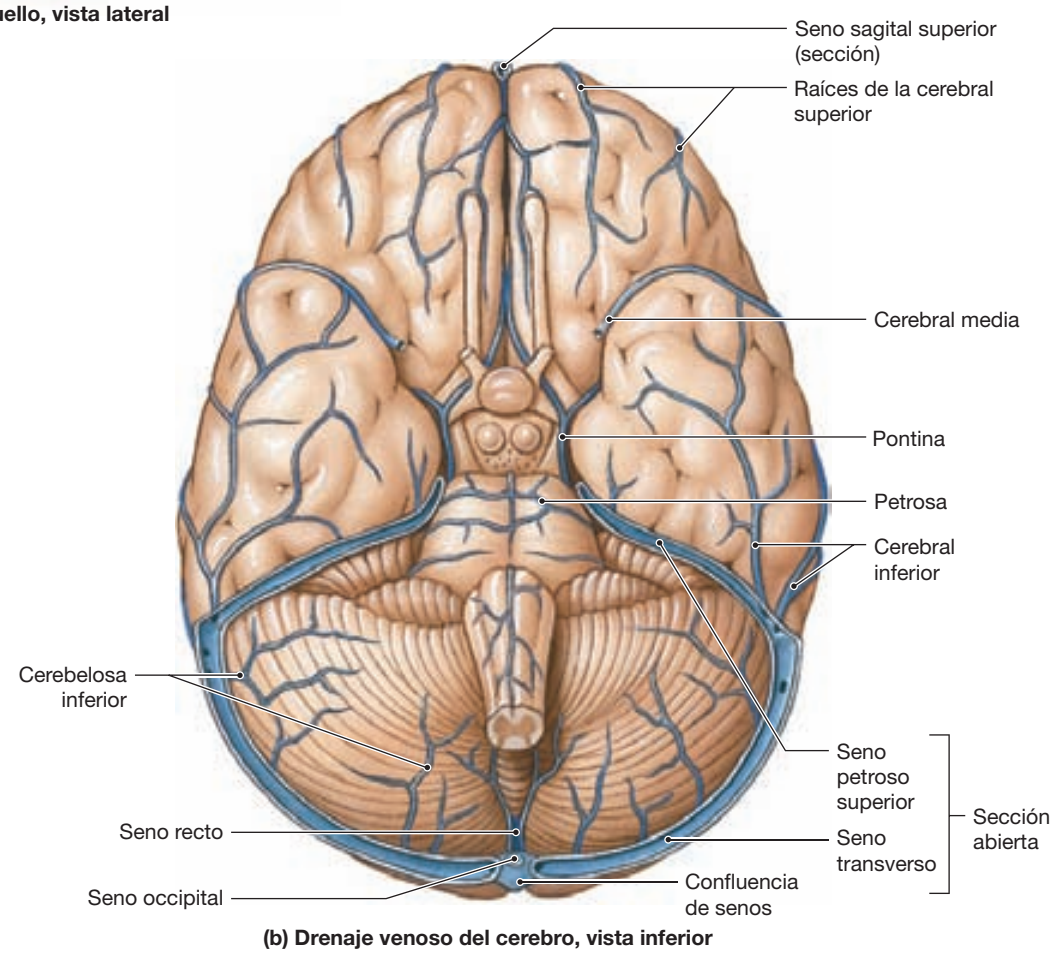
Figura 22.22 Principales venas de la cabeza y el cuello
(a) Una vista lateral oblicua de la cabeza y el cuello que muestra las venas profundas y superficiales principales. **(b)** Una vista inferior del encéfalo que muestra las venas principales. Compárese con el aporte arterial al encéfalo mostrado en la *figura 22.15a.*

domastoideo. Posterior a la clavícula, la yugular externa desemboca en la *vena subclavia*. En individuos sanos, la vena yugular externa se palpa fácilmente y se puede ver en ocasiones un *pulso venoso yugular (PVY)* en la base del cuello.

Retorno venoso del miembro superior [v. figura 22.23] Las **venas digitales** desembocan en las **venas palmares superficial** y **profunda** de la mano, que están interconectadas para formar los arcos venosos palmares (**v. figura 22.23**). El arco superficial desemboca en las **venas cefálica,** que asciende por el lado radial del antebrazo, **antebraquial medial** y **basílica,** que asciende por el lado cubital. Anterior al codo se encuentra la **vena media cubital,** que interconecta las venas cefálica y basílica. Las muestras de sangre se toman típicamente de la vena media cubital.

Desde el codo, la vena basílica discurre en sentido superior a lo largo de la superficie medial del músculo bíceps braquial. A medida que se aproxima a la axila, la vena basílica se une a la vena humeral para formar la **vena axilar** (**v. figura 22.23**).

Las venas palmares profundas drenan en las **venas radial** y **cubital.** Tras atravesar el codo, estas venas se unen con la *vena interósea crural anterior* para formar la **vena humeral.** La



(b) Drenaje venoso del cerebro, vista inferior

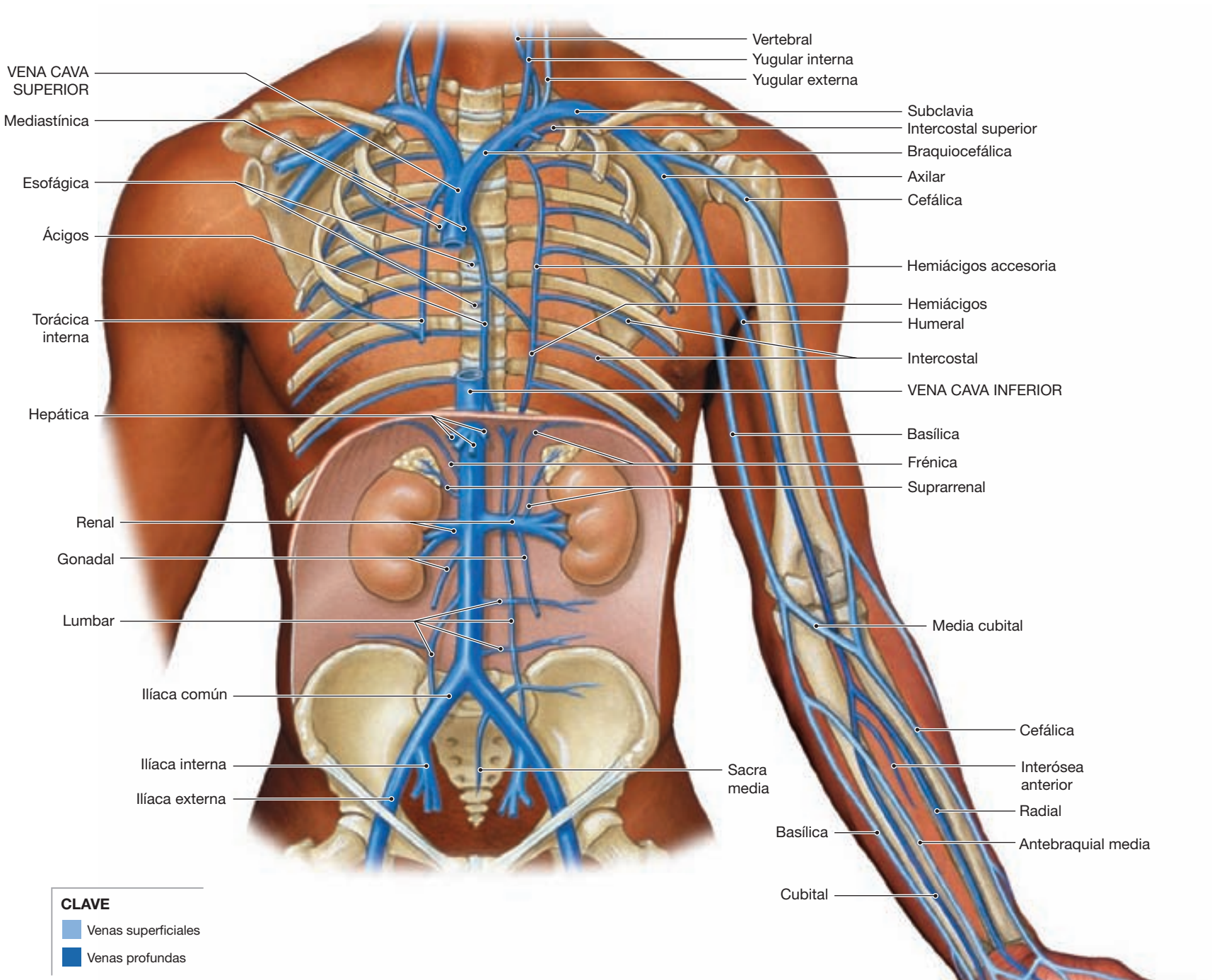
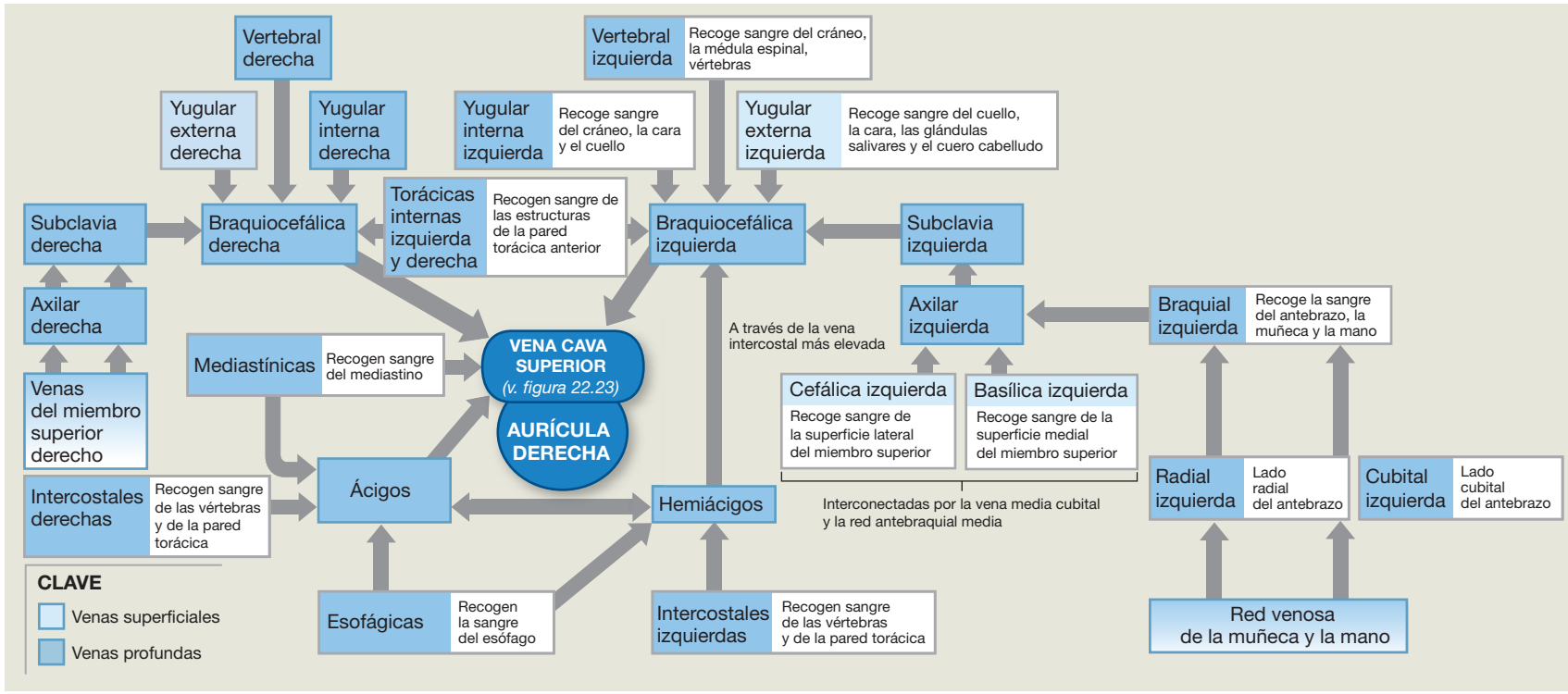


Figura 22.23 **Drenaje venoso del tronco y el miembro superior**

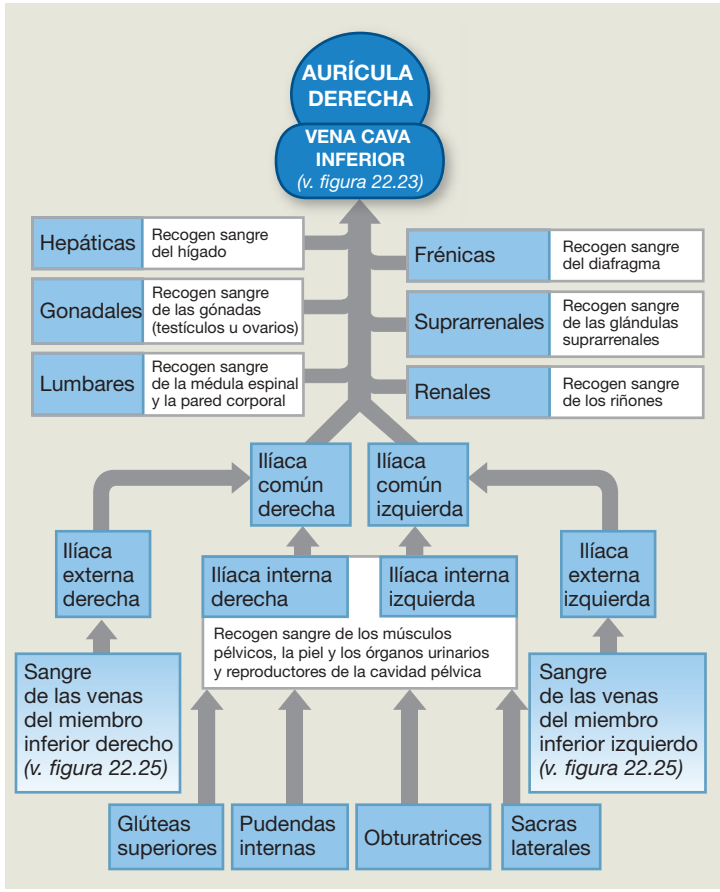
vena humeral discurre en paralelo con la arteria humeral. A medida que la vena humeral continúa hacia el tronco, recibe sangre de la vena basílica antes de entrar en la axila como vena axilar.

Formación de la vena cava superior [v. figuras 22.23/22.24] La vena cefálica se une a la vena axilar sobre la superficie externa de la primera costilla, formando la **vena subclavia,** que continúa hacia el tórax. La vena subclavia cruza sobre la superficie superior de la primera costilla, a lo largo de la clavícula, y entra en la cavidad torácica. La subclavia se une entonces con las venas yugular externa e interna de ese lado. Ello crea la **vena braquiocefálica** o *vena innominada* (v. figura 22.23). La vena braquiocefálica recibe sangre de la vena vertebral, la cual drena la parte posterior del cráneo y la médula espinal. A nivel de las costillas primera y segunda, las venas braquiocefálicas izquierda y derecha convergen para formar la **vena cava superior (VCS).** En la proximidad del punto de su fusión, la **vena torácica interna** desemboca en la vena braquiocefálica izquierda. En la figura 22.24a se resumen las venas tributarias de la vena cava superior.

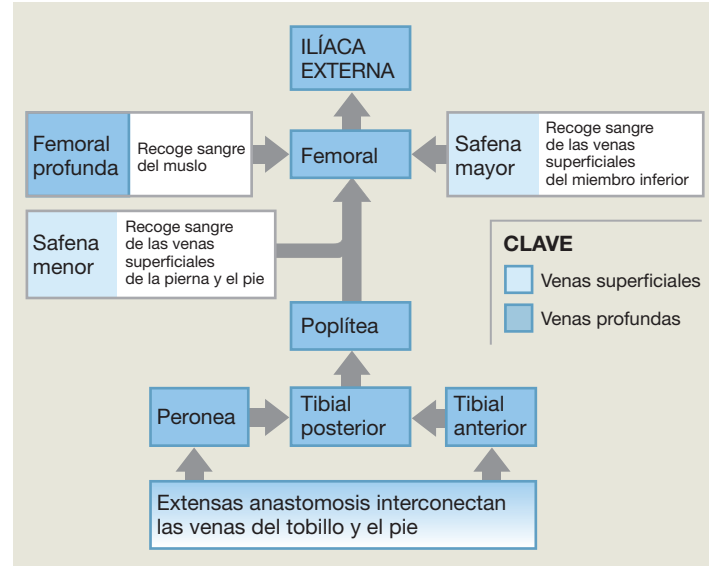
La **vena ácigos** es la principal tributaria de la vena cava superior. Este vaso asciende desde la región lumbar a lo largo del lado derecho de la columna vertebral para alcanzar la cavidad torácica a través del diafragma. La ácigos se une a la vena cava superior a nivel de la vértebra T_2. La ácigos recibe sangre de la **vena hemiácigos** menor. La vena hemiácigos también puede desembocar en la **vena intercostal más elevada,** una tributaria de la vena braquiocefálica izquierda, por medio de una pequeña **vena hemiácigos accesoria.** Las venas


Vertebral derecha
Vertebral izquierda
Recoge sangre del cráneo, la médula espinal, vértebras
Yugular externa derecha
Yugular interna derecha
Yugular interna izquierda
Recoge sangre del cráneo, la cara y el cuello
Yugular externa izquierda
Recoge sangre del cuello, la cara, las glándulas salivares y el cuero cabelludo
Subclavia derecha
Braquiocefálica derecha
Torácicas internas izquierda y derecha
Recogen sangre de las estructuras de la pared torácica anterior
Braquiocefálica izquierda
Subclavia izquierda
Axilar derecha
Axilar izquierda
Braquial izquierda
Recoge la sangre del antebrazo, la muñeca y la mano
Mediastínicas
Recogen sangre del mediastino
VENA CAVA SUPERIOR (v. figura 22.23)
AURÍCULA DERECHA
A través de la vena intercostal más elevada
Venas del miembro superior derecho
Cefálica izquierda
Recoge sangre de la superficie lateral del miembro superior
Basílica izquierda
Recoge sangre de la superficie medial del miembro superior
Intercostales derechas
Recogen sangre de las vértebras y de la pared torácica
Ácigos
Hemiácigos
Interconectadas por la vena media cubital y la red antebraquial media
Radial izquierda
Lado radial del antebrazo
Cubital izquierda
Lado cubital del antebrazo
CLAVE
Venas superficiales
Venas profundas
Esofágicas
Recogen la sangre del esófago
Intercostales izquierdas
Recogen sangre de las vértebras y de la pared torácica
Red venosa de la muñeca y la mano

(a) Tributarias de la vena cava superior


AURÍCULA DERECHA
VENA CAVA INFERIOR (v. figura 22.23)
Hepáticas
Recogen sangre del hígado
Frénicas
Recogen sangre del diafragma
Gonadales
Recogen sangre de las gónadas (testículos u ovarios)
Suprarrenales
Recogen sangre de las glándulas suprarrenales
Lumbares
Recogen sangre de la médula espinal y la pared corporal
Renales
Recogen sangre de los riñones
Ilíaca común derecha
Ilíaca común izquierda
Ilíaca externa derecha
Ilíaca interna derecha
Ilíaca interna izquierda
Ilíaca externa izquierda
Recogen sangre de los músculos pélvicos, la piel y los órganos urinarios y reproductores de la cavidad pélvica
Sangre de las venas del miembro inferior derecho (v. figura 22.25)
Sangre de las venas del miembro inferior izquierdo (v. figura 22.25)
Glúteas superiores
Pudendas internas
Obturatrices
Sacras laterales

(b) Tributarias de la vena cava inferior



(c) Resumen de las venas del miembro inferior

Figura 22.24 Diagrama resumen del sistema venoso

ácigos y hemiácigos son los principales vasos colectores del tórax. Reciben sangre de: 1) numerosas **venas intercostales,** que reciben sangre de los músculos torácicos; 2) **venas esofágicas,** que recogen la sangre del esófago, y 3) venas menores que drenan otras estructuras mediastínicas.

Vena cava inferior La **vena cava inferior (VCI)** recoge la mayor parte de la sangre venosa de los órganos infradiafragmáticos (una pequeña cantidad alcanza la vena cava superior a través de las venas ácigos y hemiácigos). En la **figura 22.24b,c** se resumen las venas tributarias de la vena cava inferior.

Venas que drenan los miembros inferiores [v. figuras 22.24c/22.25] La sangre que abandona los capilares de la planta de los pies se colecciona en una red de **venas plantares.** El **arco venoso plantar** proporciona sangre a las venas profundas de la pierna: la **vena tibial anterior,** la **vena tibial posterior** y la

vena fibular, o *vena peronea* (v. figuras 22.24c y 22.25a). El **arco venoso dorsal** recoge la sangre de los capilares de la superficie dorsal del pie y de las venas digitales de los dedos. Hay interconexiones extensas entre el arco plantar y el arco dorsal, y el camino del flujo sanguíneo puede derivarse fácilmente de las venas superficiales a las venas profundas.

El arco venoso dorsal es drenado por dos venas superficiales, la **vena safena mayor** (*saphenes,* prominente) y la **vena safena menor.** La vena safena mayor se utiliza en operaciones de derivación coronaria para sustituir vasos coronarios ocluidos. Es la vena más larga del cuerpo; asciende a lo largo de la parte medial de la pierna y el muslo, desembocando en la *vena femoral* cerca de la articulación de la cadera. La vena safena menor se origina en el arco venoso dorsal y asciende a lo largo de la parte posterior y lateral de la pierna. Penetra entonces en la fosa poplítea, donde converge con la **vena poplítea** formada por la unión de las venas tibial y peronea. La vena poplítea puede palparse fácilmen-

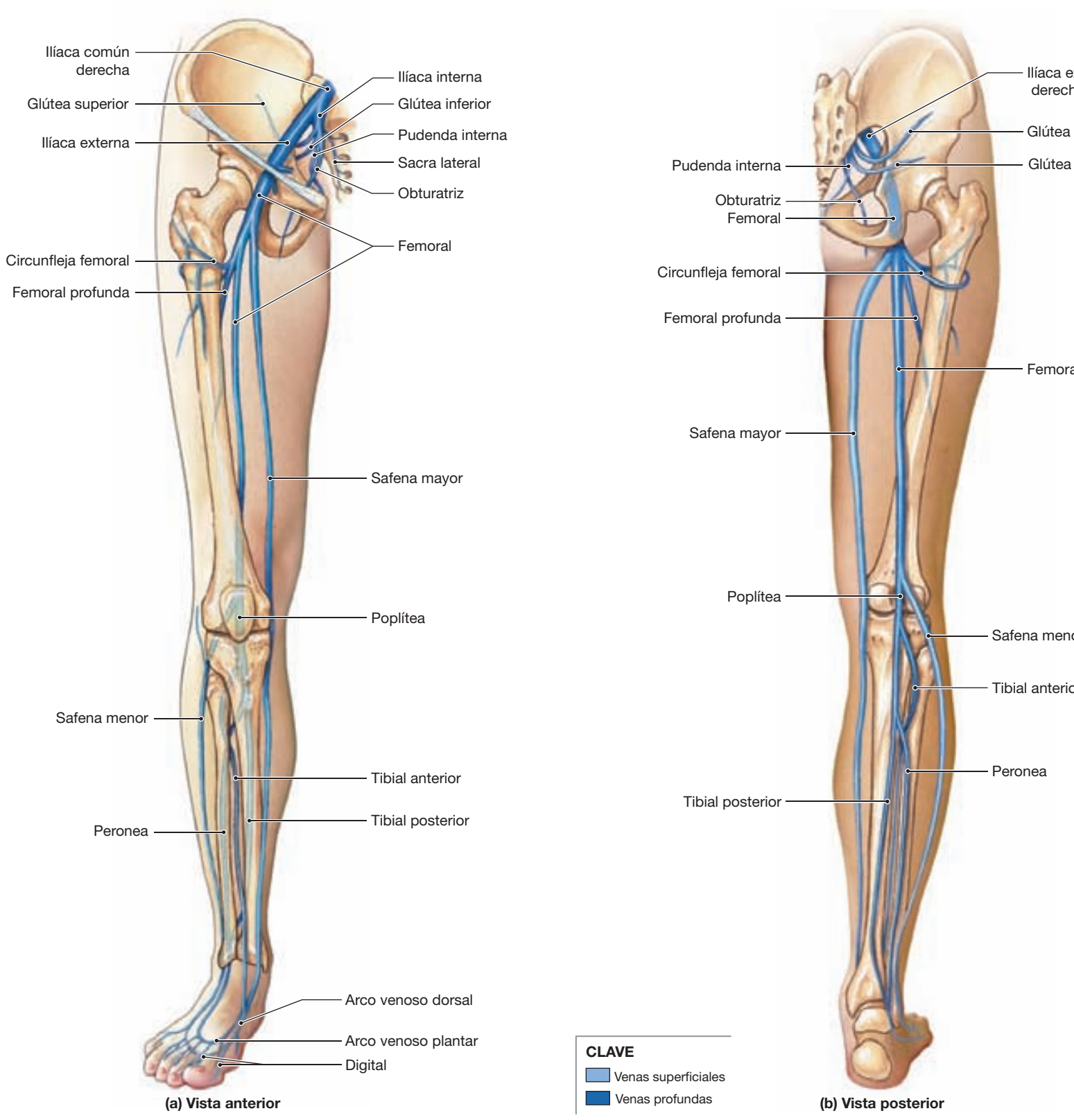


Figura 22.25 Drenaje venoso del miembro inferior
(a) Vista anterior, se muestran las venas del miembro inferior derecho. **(b)** Vista posterior, se muestran las venas del miembro inferior derecho.

te en la fosa poplítea adyacente al músculo aductor mayor (v. figura 22.25b). Una vez alcanza el fémur, la vena poplítea se convierte en la **vena femoral,** la cual asciende a lo largo del muslo próxima a la arteria femoral. Inmediatamente antes de penetrar en la pared abdominal, la vena femoral recibe sangre de: 1) la vena safena mayor; 2) la **vena femoral profunda,** la cual recoge la sangre de las estructuras más profundas del muslo, y 3) la **vena circunfleja femoral,** que drena el área alrededor del cuello y la cabeza femorales. La gran vena resultante penetra en la pared corporal y emerge en la cavidad pélvica como **vena ilíaca externa.**

Venas que drenan la pelvis [v. figuras 22.23/22.25] Las venas ilíacas externas reciben la sangre de los miembros inferiores, la pelvis y la parte inferior del abdomen. A medida que cada vena ilíaca externa discurre a través de la superficie interna del ilíaco, converge con la **vena ilíaca interna,** la cual drena los órganos pélvicos de ese lado. Las venas ilíacas internas se forman a partir de la fusión de las **venas glúteas, pudendas internas, obturatrices** y **sacras laterales** (v. figura 22.25). La unión de las venas ilíacas externa e interna forma la **vena ilíaca común.** La **vena sacra media,** que drena la región irrigada por la arteria sacra media, suele desembocar en la ilíaca común izquierda (v. figura 22.23). Las venas ilíacas comunes izquierda y derecha ascienden siguiendo un ángulo oblicuo. Por delante de la vértebra L_5 se unen para formar la vena cava inferior.

Venas que drenan el abdomen [v. figuras 22.23/22.24] La pared abdominal, las gónadas, el hígado, los riñones, las glándulas suprarrenales y el diafragma son drenados por la vena cava inferior. Los órganos viscerales de la cavidad abdominal son drenados por la vena porta hepática, que se expone de forma separada. La vena cava inferior asciende por detrás de la cavidad peritoneal, paralela a la aorta. La sangre de la vena cava inferior fluye hacia la aurícula derecha, donde se mezcla con la sangre venosa de la vena cava superior. Esta sangre entra entonces en el ventrículo derecho y es impulsada hacia el circuito pulmonar para su oxigenación en los pulmones. El segmento abdominal de la vena cava inferior recoge sangre de seis venas principales (v. figuras 22.23 y 22.24):

1. Las **venas lumbares** que drenan la parte lumbar del abdomen. Ramas superiores de estas venas están conectadas con la vena ácigos (lado derecho) y la vena hemiácigos (lado izquierdo), que desembocan en la vena cava superior.
2. Las **venas gonadales** *(ováricas* o *testiculares)* drenan los ovarios o los testículos. La vena gonadal derecha desemboca en la vena cava inferior; la gonadal izquierda suele desembocar en la vena renal izquierda.
3. Las **venas suprahepáticas** salen del hígado y desembocan en la vena cava inferior a nivel de la vértebra T_{10}.
4. Las **venas renales** recogen la sangre de los riñones. Son las mayores tributarias de la vena cava inferior.
5. Las **venas suprarrenales** drenan las glándulas suprarrenales. Habitualmente sólo la vena suprarrenal derecha desemboca en la vena cava inferior, mientras que la izquierda lo hace en la vena renal izquierda
6. Las **venas frénicas** drenan el diafragma. Sólo la vena frénica derecha desemboca en la vena cava inferior; la izquierda lo hace en la vena renal izquierda.

Sistema porta hepático [v. figura 22.26] El hígado es el único órgano digestivo no drenado por la vena cava inferior. En vez de viajar directamente hacia la vena cava inferior, la sangre que abandona los lechos capilares irrigados por el tronco celíaco y las arterias mesentérica superior y mesentérica inferior fluye hacia las venas del **sistema porta hepático.** Puede que recuerden del capítulo 19 que a un vaso sanguíneo que conecta dos lechos capilares se le llama *vaso porta*, y que una red es un *sistema porta* [p. 512]. En el sistema porta hepático, la sangre venosa que absorbe los nutrientes desde el intestino delgado, de partes del intestino grueso, del estómago y del páncreas fluye directamente al hígado para su procesamiento y almacenamiento.

La sangre que fluye por el sistema porta hepático es, por tanto, bastante diferente de la de otras venas sistémicas. Por ejemplo, las concentraciones de glucosa y aminoácidos en sangre en la vena porta hepática superan a menudo los que se encuentran en cualquier otro lugar del sistema circulatorio. Además, al mismo tiempo que esta sangre pobre en oxígeno y rica en nutrientes alcanza el hígado desde los órganos digestivos, el hígado también recibe sangre rica en oxígeno y pobre en nutrientes desde el circuito sistémico a través de la arteria hepática propia. Esto significa que el hígado recibe sangre mixta respecto a nutrientes y oxígeno.

El hígado regula las concentraciones de nutrientes, tales como glucosa o aminoácidos, en la sangre circulante. Durante la digestión, el estómago y los intestinos absorben altas concentraciones de nutrientes conjuntamente con varios productos de desecho e incluso toxinas. El sistema hepático portal deposita estos compuestos directamente en el hígado para su almacenamiento, conversión metabólica o excreción por los hepatocitos. Tras atravesar los sinusoides hepáticos, la sangre es recogida por las venas hepáticas, las cuales desembocan en la vena cava inferior (v. figura 22.26). Como la sangre va primero al hígado, la composición de la sangre en el circuito sistémico general permanece relativamente estable, independientemente de las actividades digestivas en curso.

El sistema porta hepático comienza en los capilares de los órganos digestivos y finaliza cuando la vena porta hepática deposita la sangre en los sinusoides hepáticos. Las tributarias de la vena porta hepática son:

- La **vena mesentérica inferior** recoge la sangre de capilares a lo largo del segmento inferior del intestino grueso. Sus tributarias incluyen la **vena cólica izquierda** y las **venas rectales superiores,** que drenan el colon descendente, el colon sigmoide y el recto.
- La **vena esplénica** se forma por la unión de la vena mesentérica inferior y de venas del bazo, del borde lateral del estómago *(vena gastroepiploica izquierda)* y del páncreas *(venas pancreáticas)*.
- La **vena mesentérica superior** recoge sangre de venas que drenan el estómago *(vena gastroepiploica derecha)*, el intestino delgado *(venas intestinales* y *pancreaticoduodenales)* y dos tercios del intestino grueso *(venas ileocólica, cólica derecha* y *cólica media)*.

La vena porta hepática se forma a partir de la fusión de las venas mesentérica superior y esplénica. De las dos, la vena mesentérica superior normalmente contribuye con un mayor volumen de sangre y la mayoría de los nutrientes. A medida que discurre hacia el hígado, la vena porta hepática recibe sangre de las **venas gástricas,** que drenan el borde medial del estómago, y de las **venas císticas** de la vesícula.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Diana sufre un accidente de automóvil y se le rompe el tronco celíaco. ¿Qué órganos se verían más directamente afectados por esta lesión?
2. La temperatura ambiental es de 43 °C y usted tiene mucho calor. ¿Qué cambios se han producido en sus venas y por qué?
3. ¿Qué vena principal recibe la sangre de la cabeza, el cuello, el tórax, los hombros y los miembros superiores?
4. ¿Por qué la sangre procedente del intestino va primero al hígado?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Cambios cardiovasculares en el nacimiento [v. figura 22.27]

Hay diferencias significativas entre los aparatos cardiovascular fetal y adulto que reflejan las fuentes diferentes de soporte respiratorio y nutricional. Los pulmones embrionarios están colapsados y no son funcionantes y el tubo digestivo no contiene nutrientes que digerir. Todas las necesidades nutricio-

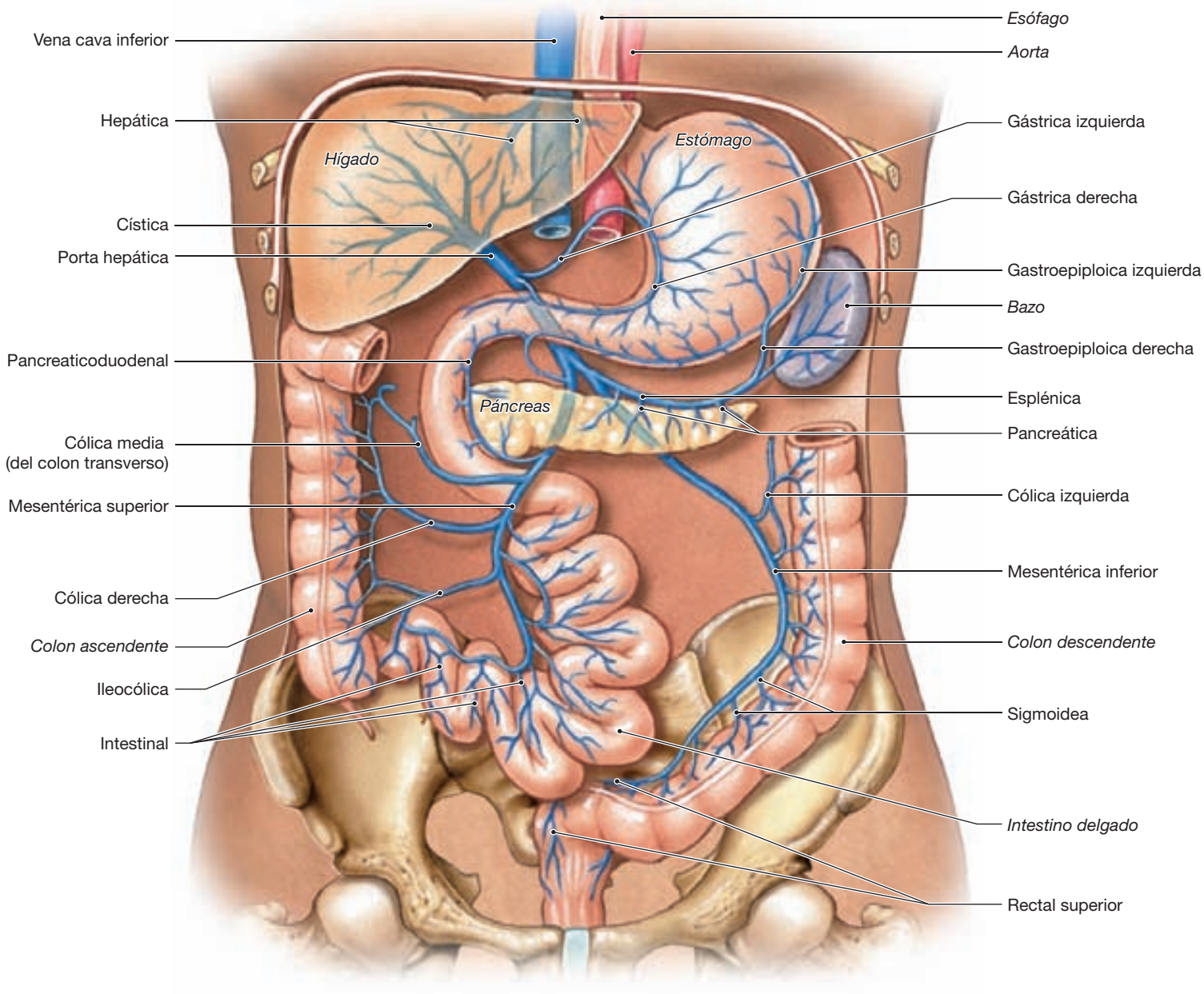


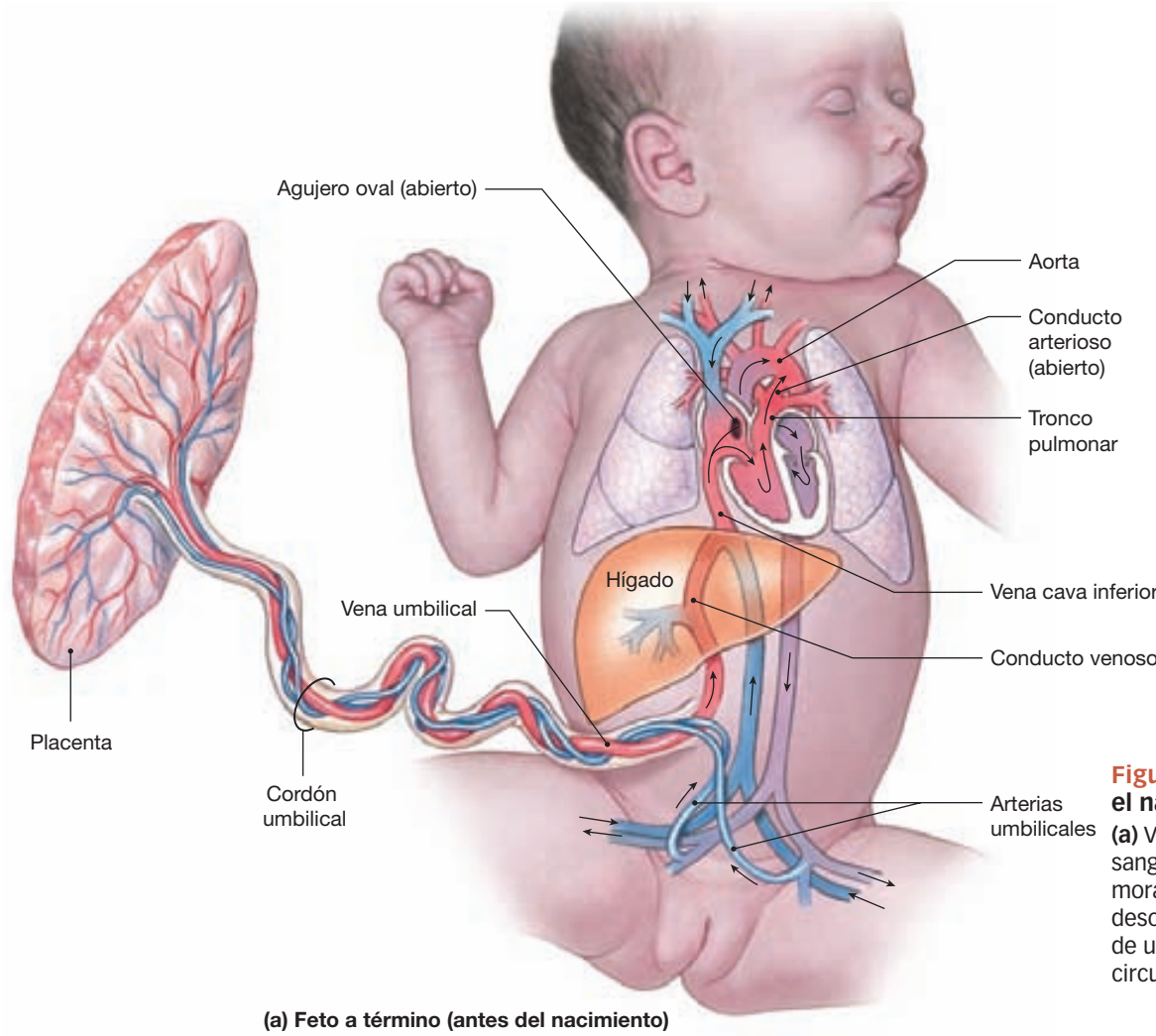
Figura 22.26 **Sistema porta hepático**

nales y respiratorias fetales son suministradas por difusión a través de la *placenta*, un órgano complejo que regula el intercambio entre los torrentes circulatorios fetal y materno (la estructura de la placenta se expone en el capítulo 28). Dos **arterias umbilicales** salen de las arterias ilíacas internas del feto, entran en el cordón umbilical y llevan sangre a la placenta. La sangre vuelve al feto a partir de la placenta por una **vena umbilical** única, llevando oxígeno y nutrientes al feto en desarrollo. La vena umbilical desemboca en el **conducto venoso,** que se encuentra conectado a una red complicada de venas dentro del hígado en desarrollo. El conducto venoso recoge la sangre de las venas del hígado y de la vena umbilical y la traslada a la vena cava inferior (**v. figura 22.27a,c**). Cuando se rompe la conexión placentaria al nacimiento, cesa el flujo sanguíneo a través de los vasos umbilicales, los cuales degeneran pronto.

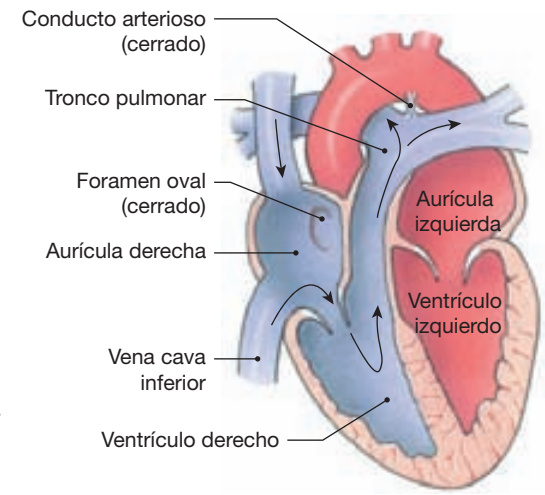
Aunque los tabiques interauricular e interventricular se desarrollan temprano durante la vida fetal, la separación auricular permanece funcionalmente incompleta hasta el momento del nacimiento. La conexión entre las aurículas, o *agujero oval*, se asocia a un colgajo alargado que actúa como válvula. La sangre puede fluir libremente desde la aurícula derecha a la aurícula izquierda, pero cualquier flujo de retorno cierra la válvula y aísla las dos cámaras. Por tanto, la sangre puede entrar al corazón por la aurícula derecha y saltarse completamente el circuito pulmonar. Existe un segundo cortocircuito entre los troncos pulmonar y aórtico. Esta conexión, el **conducto arterioso,** es un vaso muscular corto.

Con los pulmones colapsados, los capilares están comprimidos y poca sangre fluye hacia los pulmones. Durante la diástole, la sangre entra en la aurícula derecha y fluye hacia el ventrículo derecho, pero parte de ella también cruza hacia la aurícula izquierda a través del agujero oval. Aproximadamente el 25% de la sangre que llega a la aurícula derecha elude el circuito pulmonar de esta forma. Además, más del 90% de la sangre que abandona el ventrículo derecho atraviesa el conducto arterioso y entra en la circulación sistémica en vez de seguir hacia los pulmones.

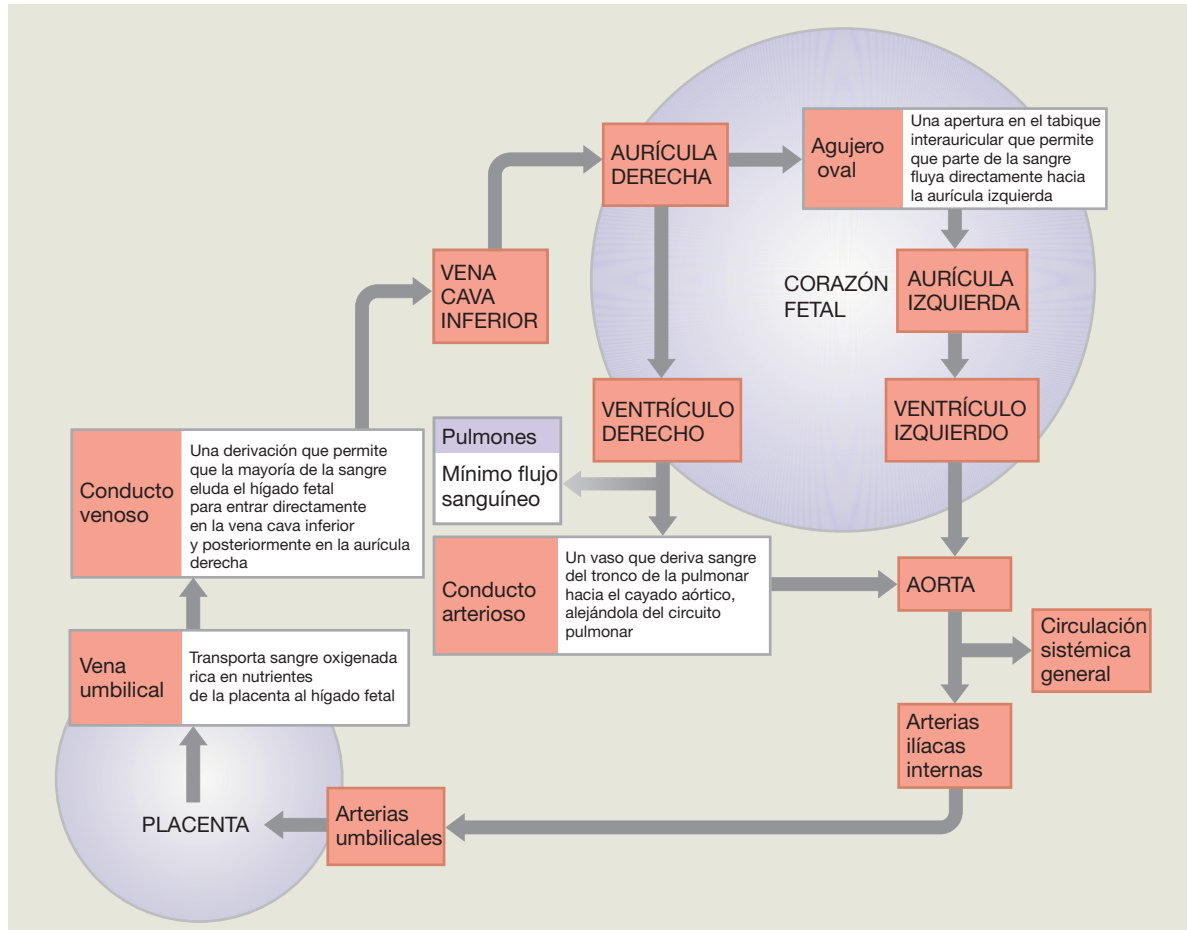
Al nacimiento se producen unos cambios espectaculares. Cuando el lactante realiza su primera respiración, los pulmones se expanden y también lo hacen los vasos pulmonares. El músculo liso del conducto arterioso se contrae, aislando los troncos pulmonar y aórtico, y la sangre comienza a fluir a través del circuito pulmonar. A medida que la presión se eleva en la aurícula izquierda, el colgajo valvular cierra el agujero oval y completa, la remodelación cardiovascular. Estas alteraciones se muestran en diagrama y se resumen en la **figura 22.27a,b**. En el adulto, el tabique interauricular presenta una ligera depre-



(a) Feto a término (antes del nacimiento)



(b) Tras el parto


AURÍCULA DERECHA
Agujero oval
Una apertura en el tabique interauricular que permite que parte de la sangre fluya directamente hacia la aurícula izquierda
CORAZÓN FETAL
AURÍCULA IZQUIERDA
VENA CAVA INFERIOR
VENTRÍCULO DERECHO
VENTRÍCULO IZQUIERDO
Pulmones
Mínimo flujo sanguíneo
Conducto venoso
Una derivación que permite que la mayoría de la sangre eluda el hígado fetal para entrar directamente en la vena cava inferior y posteriormente en la aurícula derecha
Conducto arterioso
Un vaso que deriva sangre del tronco de la pulmonar hacia el cayado aórtico, alejándola del circuito pulmonar
AORTA
Circulación sistémica general
Vena umbilical
Transporta sangre oxigenada rica en nutrientes de la placenta al hígado fetal
Arterias ilíacas internas
PLACENTA
Arterias umbilicales

(c) Patrón de circulación fetal

Figura 22.27 Cambios en la circulación fetal en el nacimiento

(a) Vías de circulación en un feto a término. El rojo indica sangre oxigenada, el azul indica sangre desoxigenada y el morado indica una mezcla de sangre oxigenada y desoxigenada. **(b)** Flujo sanguíneo a través del corazón de un recién nacido. **(c)** Diagrama de los patrones circulatorios en el feto y en el lactante recién nacido.

Nota clínica

Problemas cardiovasculares congénitos Los problemas cardiovasculares congénitos lo suficientemente graves como para representar una amenaza para la homeostasis son relativamente raros. Suelen reflejar una formación anormal del corazón o problemas en las interconexiones entre el corazón y los grandes vasos. En la **figura 22.28** hay varios ejemplos de defectos cardiovasculares congénitos. La mayoría de estos pueden corregirse quirúrgicamente, aunque pueden ser necesarias cirugías múltiples y la esperanza de vida se acorta en los defectos más graves.

El cierre incompleto del agujero oval o del conducto arterioso (**v. figura 22.28a**) produce la recirculación de la sangre hacia el circuito pulmonar. La presión en el circuito pulmonar aumenta, lo que conduce a edema pulmonar y a una cardiomegalia que al final lleva a la insuficiencia cardíaca.

Las *comunicaciones interventriculares* (**v. figura 22.28b**) son las cardiopatías congénitas más frecuentes, y afectan al 0,12% de los lactantes recién nacidos. La comunicación entre los ventrículos izquierdo y derecho tiene un efecto similar al de una conexión entre las aurículas: cuando late, el ventrículo izquierdo más potente lanza la sangre hacia el ventrículo derecho y el circuito pulmonar. Pueden producirse hipertensión pulmonar, edema pulmonar y cardiomegalia.

La *tetralogía de Fallot* (**v. figura 22.28c**) es un grupo complejo de defectos cardíacos y circulatorios que afecta al 0,10% de los lactantes recién nacidos. En esta entidad: 1) el tronco pulmonar es anormalmente estrecho; 2) el tabique interventricular es incompleto; 3) la aorta se origina donde termina normalmente el tabique interventricular, y 4) el ventrículo derecho está agrandado. Como no se produce la oxigenación sanguínea normal, la sangre circulante tiene un color rojo oscuro. La piel adquiere entonces un tono azulado típico de cianosis, una condición descrita en el capítulo 4, y al lactante se le conoce como «un niño azul».

En la *transposición de los grandes vasos* (**v. figura 22.28d**) la aorta está conectada al ventrículo derecho, mientras que la arteria pulmonar lo está al ventrículo izquierdo. Esta malformación afecta al 0,05% de los lactantes recién nacidos.

En el defecto de la unión auriculoventricular (**v. figura 22.28e**) las aurículas y los ventrículos se encuentran separados de forma incompleta. Los resultados son bastante variables, en función de la extensión del defecto y de los efectos sobre las válvulas auriculoventriculares. Este tipo de defecto afecta con mayor frecuencia a lactantes con el *síndrome de Down*, un trastorno causado por la presencia de una copia extra del cromosoma 21.

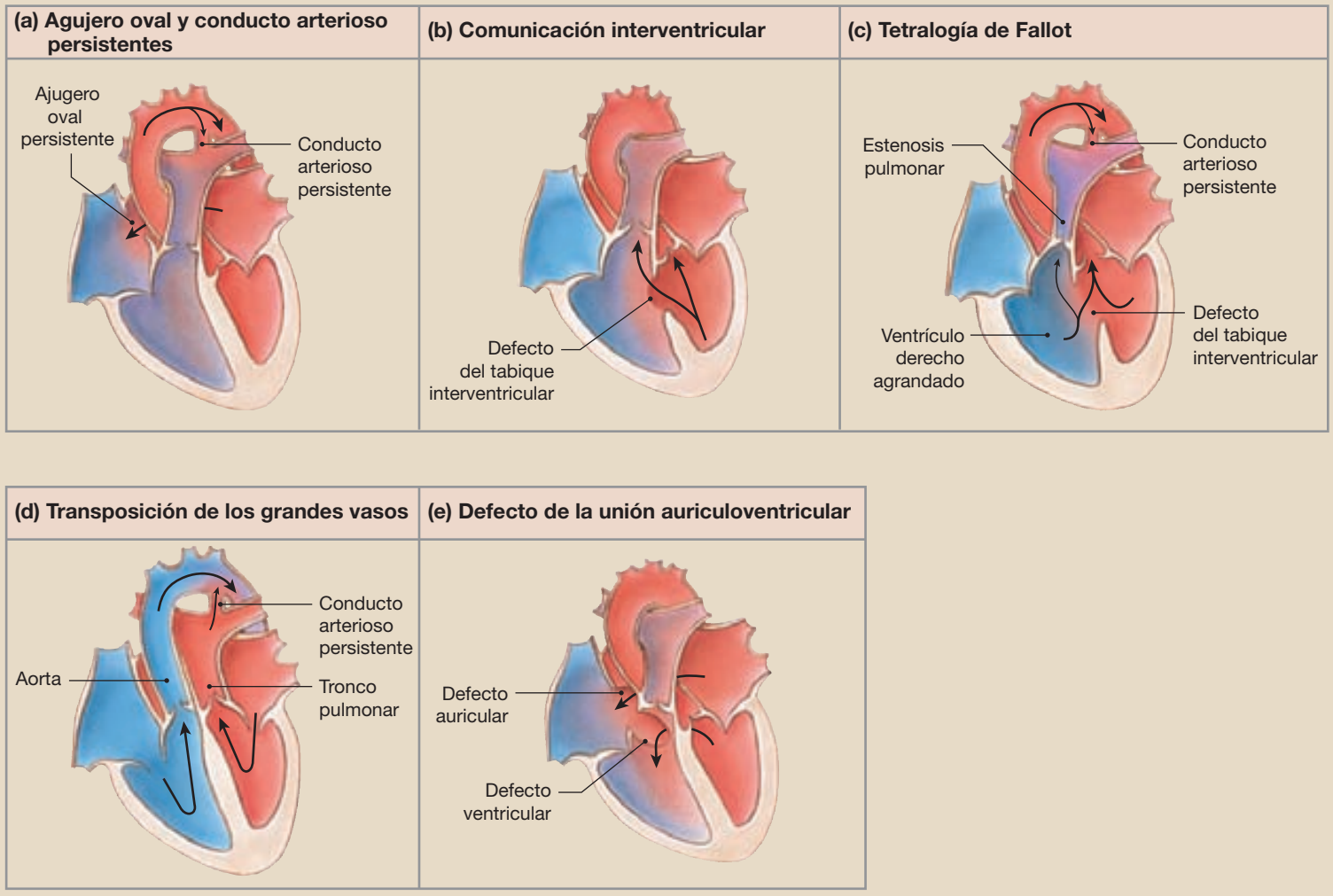


Figura 22.28 Problemas cardiovasculares congénitos
Diagramas que muestran algunos problemas del desarrollo relativamente habituales que afectan al corazón y a los grandes vasos.

sión, la *fosa oval*, que marca la localización del agujero oval original. Los restos del conducto arterioso se mantienen en forma de un cordón fibroso, el **ligamento arterioso** [p. 556].

Si no se producen los cambios circulatorios adecuados al nacimiento o poco después, se desarrollarán problemas. La gravedad del problema varía en función de qué conexión permanezca abierta y del tamaño de la misma. El tratamiento puede incluir el cierre quirúrgico del agujero oval o del conducto arterioso o de ambos. Otras malformaciones cardíacas congénitos se deben a un desarrollo cardíaco anormal o a conexiones inadecuadas entre el corazón y las principales arterias y venas.

Envejecimiento y aparato cardiovascular

Las capacidades del aparato cardiovascular gradualmente se reducen con la edad. Los cambios principales se enumeran y resumen aquí, en el mismo orden que los capítulos cardiovasculares: sangre, corazón y vasos.

1. *Los cambios relacionados con la edad en la sangre* incluyen: 1) disminución del hematocrito; 2) vasoconstricción u oclusión de las venas periféricas por un **trombo** (coágulo sanguíneo estacionario); el trombo se puede desprender, cruzar el corazón y quedar alojado en una pequeña arteria, con mayor frecuencia de los pulmones, causando una **embolia pulmonar,** y 3) acumulación de sangre en las venas de las piernas porque las válvulas venosas no actúan con eficacia.
2. *Los cambios relacionados con la edad en el corazón* incluyen: 1) una reducción del gasto cardíaco máximo; 2) una disminución en la elasticidad del esqueleto fibroso; 3) aterosclerosis progresiva que puede restringir la circulación coronaria, y 4) sustitución de las fibras musculares cardíacas lesionadas por tejido cicatricial.
3. *Los cambios relacionados con la edad en los vasos* están a menudo relacionados con la arterioesclerosis e incluyen los siguientes: 1) las paredes poco elásticas de las arterias se vuelen menos tolerantes a los cambios repentinos en la presión, lo que puede dar lugar a **aneurismas,** ocasionar un accidente cerebrovascular, un infarto o una hemorragia masiva, en función del vaso afectado; 2) se pueden depositar sales de calcio en las paredes vasculares debilitadas, lo que aumenta el riesgo de una accidente cerebrovascular o un infarto, y 3) se pueden formar trombos sobre placas ateroscleróticas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué cambios principales tienen lugar en el corazón y los principales vasos de un recién nacido al nacimiento?
2. ¿Qué ocasiona las venas varicosas?
3. ¿Por qué resulta peligrosa la disminución de la elasticidad de las arterias con la edad?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato cardiovascular, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Caso clínico

APARATO CARDIOVASCULAR

EL CARTERO CON SÍNTOMAS

Tony es un trabajador de la oficina de correos rural de 59 años que acude a ver a su médico de atención primaria para una revisión. Tony se queja de haber sufrido episodios de mareo de corta duración e impredecibles durante los últimos 2-3 años. Además de estos síntomas, Tony ha detectado recientemente dolor ocasional y entumecimiento de su brazo izquierdo. El ejercicio aumenta tanto la intensidad del dolor como la duración del entumecimiento. Tony cuenta al médico que pidió cita ante la alarma de su mujer.

Exploración inicial

El médico detecta lo siguiente durante la exploración y discusión con Tony:

1. Además del mareo, los síntomas incluyen náuseas, desmayos ocasionales y visión borrosa.
2. La duración de estos episodios varía, desde pocos segundos hasta varios minutos.
3. El paciente es fuerte y realiza ejercicio físico con frecuencia, juega al tenis una o dos veces por semana y corre 30-35 km por semana a un ritmo de 6 minutos por kilómetro.
4. El paciente refiere que transporta su saco de correo en el brazo izquierdo durante el 99% del tiempo.
5. La presión arterial es de 180/95.
6. El pulso es de 55/minuto y fuerte.
7. La familia del paciente tiene antecedentes de arterioesclerosis.

El médico sospecha que el dolor y el entumecimiento del brazo de Tony podrían estar causados por el efecto a largo plazo de transportar el pesado saco de correos en el mismo hombro. Da instrucciones a Tony para transportar el saco de correo exclusivamente en el hombro derecho durante 7-10 días. Al final de dicho período Tony deberá alternar entre ambos hombros, cambiando cada 10-15 minutos, durante otros 7-10 días. Tras detectar la elevación de la presión arterial, el médico prescribe un fármaco para la hipertensión. Tony es citado para una visita de seguimiento.

Exploración de seguimiento

En la visita de seguimiento, Tony declara que ha llevado su saco de correo como se le indicó. Sin embrago, los síntomas han persistido y en ocasiones se han intensificado. El médico tiene tiempo en esta ocasión para una exploración más detallada y encuentra lo siguiente:

- La duración de los episodios está aumentando, con una media de duración de 4-6 minutos en la actualidad.
- La frecuencia de los episodios también ha aumentado, a días alternos.
- El dolor y entumecimiento ocasional del brazo izquierdo han aumentado en intensidad y duración.
- El ejercicio parece aumentar los síntomas; por ejemplo, durante la pasada semana el dolor fue tal que Tony no fue capaz de jugar al tenis ni correr.
- La presión arterial, medida en el brazo derecho, es de 180/95.
- La presión arterial, medida en el brazo izquierdo, es de 93/70.
- El pulso, medido en la muñeca derecha, es de 55/min y fuerte.
- El pulso, medido en la muñeca izquierda, es de 55/min pero débil.

Casoc línico *(cont.)*

- El pulso carotídeo es fuerte y simétrico.
- Existe una disminución del latido en la fosa supraclavicular izquierda acompañada de un soplo sistólico.
- Cuando se le pide que sujete un peso ligero con su brazo izquierdo y lo eleve repetidamente por encima de su cabeza, Tony se queja de entumecimiento y hormigueo en el brazo acompañado de mareo; y
- Ninguno de estos síntomas aparece cuando se le hace realizar el ejercicio con el brazo derecho.

Puntos de interés

Un médico debe integrar las distintas pistas que conducen a un diagnóstico correcto. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como la interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en los capítulos 20 a 23. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Intente contestar cada una por separado, consultando de nuevo los capítulos convenientes si necesita alguna ayuda.

1. Tony está sufriendo mareos, náuseas, episodios de desmayo ocasionales y visión borrosa. ¿Qué sistema del organismo sería el más probablemente implicado en estos síntomas?
2. ¿Cuál es el aporte vascular al sistema que sería responsable de los mareos, náuseas, episodios sincopales y visión borrosa de Tony?
3. El médico detectó disminución de la fuerza del pulso de Tony en la muñeca izquierda. ¿Existe diferencia en la distribución vascular de las muñecas izquierda y derecha? Si es así, ¿cuál es la diferencia anatómica? ¿Cómo se relaciona este hallazgo de una disminución del latido en la fosa supraclavicular con esta diferencia anatómica?
4. Los pulsos carotídeos de Tony son fuertes y simétricos. ¿Cuál es el significado de este hallazgo?

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas y figuras referidas.

1. Los mareos de Tony, las náuseas, los episodios sincopales y la visión borrosa indican algún problema del sistema nervioso central, particularmente de aquellas regiones del SNC relacionadas con el oído interno y el ojo [pp. 487, 500].
2. El encéfalo está irrigado por ramas de las carótidas internas derecha e izquierda. Las arterias vertebrales son ramas de la arteria subclavia (**v. figura 22.13**, p. 585). Una reducción del flujo sanguíneo de cualquiera de estos vasos mayores podría ocasionar un episodio de pérdida de conocimiento ocasional (desmayo).
3. La sangre llega a la extremidad superior izquierda por la arteria subclavia izquierda. Este vaso sale directamente del cayado aórtico. Remitimos a la **figura 22.12**, pp. 583-584. La extremidad superior derecha recibe el flujo sanguíneo de la arteria subclavia derecha. La arteria subclavia derecha es una rama del tronco braquiocefálico. La arteria subclavia izquierda puede palparse en la fosa supraclavicular. Un pulso disminuido en esta región indica una disminución del flujo de la arteria subclavia.
4. La presencia de pulso carotídeo fuerte bilateral indica que el problema vascular se encuentra en un segmento arterial que no afecta a las arterias carótidas comunes (**v. figura 22.12**, p. 583).

Diagnóstico

Tony presenta un trastorno denominado «Síndrome de robo subclavio» que afecta a la arteria subclavia izquierda. En este síndrome, el diámetro de la luz de la arteria subclavia izquierda está reducido (**v. figura 22.29**). Esta reducción del diámetro disminuye el flujo sanguíneo a la extremidad superior izquierda y puede también reducir el flujo al hemisferio izquierdo del cerebro.

Tony se queja de entumecimiento y hormigueo del brazo, acompañado de mareo tras ejercicio físico que implica exclusivamente a la extremidad superior derecha. Cuando los músculos de la extremidad

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

aterosclerosis: Enfermedad caracterizada por depósitos lipídicos distribuidos irregularmente en la íntima de las arterias de gran y mediano calibre. Estos depósitos causan un estrechamiento de la luz.
disminución del pulso: Reducción del pulso en un vaso sanguíneo.
fosa supraclavicular: Área deprimida sobre la región media de la clavícula, lateral al músculo esternocleidomastoideo.
presión arterial: Presión de la sangre dentro de las arterias sistémicas.
pulso carotídeo bilateral: Pulso en ambas arterias carótidas en el cuello.
soplo sistólico: Cualquier sonido anormal oído durante la sístole del ciclo cardíaco.

Casoc línico *(cont.)*

superior izquierda trabajan a nivel elevado, su demanda metabólica aumenta y los niveles tisulares de oxígeno y nutrientes decrecen. Esto desencadena vasodilatación periférica que, en condiciones normales, incrementa drásticamente el flujo sanguíneo a través de la arteria subclavia izquierda. Sin embargo, en el caso de Tony el flujo sanguíneo puede aumentar sólo ligeramente, debido a un estrechamiento de la arteria subclavia izquierda. Este aumento es inadecuado para la demanda de los músculos en ejercicio y las terminaciones sensitivas de la extremidad, lo que causa la sensación de entumecimiento y hormigueo. Mientras, cuanto más sangre llega a la extremidad desde la arteria subclavia izquierda, menos llega a la arteria vertebral izquierda, una rama proximal de la arteria subclavia izquierda. Es esta reducción del flujo sanguíneo al cerebro la que produce mareo y vértigo. El flujo en la arteria vertebral disminuye marcadamente debido a las siguientes relaciones anatómicas:

1. La estenosis de la subclavia se localiza en la raíz del vaso, proximal al origen de la arteria vertebral en este paciente (**v. figura 22.29**).
2. El incremento de la demanda de la extremidad superior izquierda durante el ejercicio causa vasodilatación de la arteria subclavia izquierda y de sus ramas distales. Debido a la estenosis, esta vasodilatación inducida por el ejercicio disminuye la presión sanguínea en la arteria subclavia y sus ramas, y esto causa reducción o incluso inversión del flujo dentro de la arteria vertebral. ■

Figura 22.29 **Radiografía de la arteria subclavia izquierda de Tony en la que se aprecia la disminución de su diámetro.**

TÉRMINOS CLÍNICOS

aneurisma: Protuberancia en una pared vascular más débil de lo normal, habitualmente una arteria.

arterioesclerosis: Engrosamiento y estrechamiento de las paredes vasculares

aterosclerosis: Tipo de arterioesclerosis caracterizada por cambios en la capa endotelial y por la formación de placas.

embolia pulmonar: Bloqueo circulatorio causado por el enclavamiento de un trombo libre en una arteria pulmonar.

hemorroides: Venas varicosas en la pared del recto y/o ano, frecuentemente asociadas con el embarazo o con aumento de la presión para forzar el tránsito intestinal.

trombo: Coágulo sanguíneo estancado en un vaso sanguíneo.

venas varicosas: Venas hinchadas, saculares y distorsionadas por la gravedad y el fallo de las válvulas venosas.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 572

1. El aparato cardiovascular es un sistema cerrado con dos patrones circulatorios: un *circuito pulmonar* y un *circuito sistémico*.
2. La sangre circula a través de una red de arterias, venas y capilares. Todo el intercambio químico y gaseoso entre la sangre y el fluido intersticial ocurre a través de la pared de los capilares.

Organización histológica de los vasos sanguíneos 572

1. Las paredes de las arterias y de las venas tienen tres capas: la **íntima** (la más interna de las capas), la **media** (la capa intermedia) y la **adventicia** (la vaina de tejido conjuntivo que rodea al vaso) *(v. figura 22.1)*.

Distinción entre arterias y venas 573

2. En general, las paredes de las arterias son más gruesas que las de las venas. La capa endotelial de una arteria no puede contraerse, por ello está dispuesta en pliegues. Las arterias se contraen cuando la presión de la sangre no las distiende; las venas se contraen muy poco (*v. figura 22.1*).

Arterias 573

3. El sistema arterial incluye las grandes **arterias elásticas, musculares o de mediano calibre** y las más pequeñas **arteriolas.** Las arterias elásticas, o *arterias conductoras,* transportan grandes volúmenes de sangre desde el corazón. Son capaces de estrecharse y recuperar su forma con los cambios de presión. Las arterias musculares *(arterias de distribución)* distribuyen sangre a los músculos estriados y otros órganos. Las arteriolas pueden modificar su diá-

metro *(vasoconstricción o vasodilatación)* en respuesta a distintas condiciones del organismo. A medida que avanzamos hacia los capilares, el número de vasos aumenta, pero el diámetro de cada vaso disminuye y las paredes se hacen más delgadas (*v. figuras 22.1* y *22.2*).

Capilares 575

4. Los capilares son los vasos sanguíneos más pequeños y los únicos vasos cuyas paredes permiten intercambio entre la sangre y el fluido intersticial. Los capilares pueden ser **continuos** (el endotelio es una capa integra) o **fenestrados** (el endotelio tiene «ventanas»). Los **sinusoides** son capilares fenestrados especializados que se encuentran en algunos tejidos (como el hígado), lo que permite un flujo de sangre muy lento *(v. figura 22.4)*.
5. Los capilares forman redes interconectadas llamadas **lechos capilares (plexos capilares).** Un **esfínter precapilar** (una banda de músculo liso) ajusta el flujo sanguíneo dentro de cada capilar. Los **canales centrales,** o **preferentes,** son el medio de comunicación arteriola-vénula. Una **metarteriola** es el segmento arteriolar del canal. Todo el plexo capilar puede ser evitado por el flujo sanguíneo a través de las **anastomosis arteriovenosas** o a través de canales en el interior de los plexos capilares *(v. figura 22.5)*.

Venas 577

6. Las **venas** recogen la sangre desoxigenada de los tejidos y órganos y la devuelven al corazón. Las vénulas recogen la sangre desde los capilares y convergen en las **venas de mediano calibre** y luego en las **grandes venas.** El sistema arterial es un sistema de alta presión; la presión sanguínea en las venas es mucho menor. Las **válvulas** de las venas previenen el flujo retrógrado de la sangre *(v. figuras 22.1/22.2/22.6)*.

Distribución de la sangre 578

7. Mientras que el corazón, las arterias y los capilares habitualmente contienen entre el 30% y el 35% del volumen sanguíneo, la mayor parte del volumen sanguíneo está en el sistema venoso (65% a 70%). La **vasoconstricción** periférica mantiene un volumen sanguíneo adecuado en el sistema arterial tras una hemorragia. La **reserva venosa,** que es la sangre extra del sistema venoso que puede ser distribuida al sistema arterial, normalmente constituye una 21% del volumen sanguíneo total *(v. figura 22.7)*.

Distribución de los vasos sanguíneos 579

1. Los vasos sanguíneos del cuerpo pueden dividirse en los del **circuito pulmonar** (entre el corazón y los pulmones) y el **circuito sistémico** (desde el corazón a todos los órganos y tejidos) *(v. figura 22.8)*.

Circuito pulmonar 579

2. Las arterias del circuito pulmonar transportan sangre desoxigenada. El **circuito pulmonar** incluye el tronco pulmonar, las arterias pulmonares derecha e izquierda y las **venas pulmonares,** que desembocan en la aurícula izquierda *(v. figura 22.9)*.

Circuito sistémico 579

3. La **aorta ascendente** da origen a la circulación coronaria. El **cayado aórtico** se continúa con la **aorta descendente.** Tres grandes arterias se originan del cayado aórtico para irrigar colectivamente la cabeza, cuello, hombros y extremidades superiores: el **tronco braquiocefálico,** la **arteria carótida común izquierda** y la **arteria subclavia izquierda.** La distribución detallada de estos vasos sanguíneos y sus ramas se encuentra en las *figuras 22.10 a 22.20*.
4. El tronco braquiocefálico da origen a la **arteria subclavia derecha** y a la **arteria carótida común derecha.** Estas arterias irrigan la extremidad superior derecha y parte del hombro derecho, cuello y cabeza *(v. figuras 22.12 a 22.14)*.
5. Cada arteria subclavia sale de la jaula torácica para convertirse en la **arteria axilar,** que al entrar en el brazo se convierte en la **arteria humeral.** Las arterias humerales y sus ramas irrigan las extremidades superiores *(v. figura 22.12)*.
6. Cada arteria carótida común se divide en una **arteria carótida externa** y una **arteria carótida interna.** La arteria carótida externa y sus ramas irrigan estructuras del cuello y cara. La arteria carótida interna y sus ramas entran en el cráneo para llevar la sangre al cerebro y los ojos. El cerebro también recibe sangre de las **arterias vertebrales.** Las arterias vertebrales y las carótidas internas forman el **círculo arterial cerebral** (o *polígono de Willis*), que asegura el aporte sanguíneo del cerebro *(v. figuras 22.13 a 22.15)*.
7. La aorta descendente superior al diafragma se denomina **aorta torácica** y la inferior **aorta abdominal.** La aorta torácica y sus ramas proporcionan sangre al tórax y a las vísceras torácicas. La aorta abdominal y sus ramas proporcionan sangre a la pared abdominal, vísceras abdominales, estructuras pélvicas y extremidades inferiores. Las tres arterias impares son el **tronco celíaco,** la **arteria mesentérica superior** y la **arteria mesentérica inferior.** El tronco celíaco se divide en la **arteria gástrica izquierda,** la **arteria hepática común** y la **arteria esplénica.** Las arterias pares incluyen las **arterias suprarrenales,** las **arterias renales,** las **arterias lumbares** y las **arterias gonadales.** La distribución detallada de estos vasos sanguíneos se encuentra en las *figuras 22.10 a 22.18/22.20*.
8. Las arterias del cuello y extremidades son profundas bajo la piel; en contraste, hay habitualmente dos grupos de venas periféricas, uno superficial y otro profundo. Este drenaje venoso doble es importante para controlar la temperatura corporal (*v. figuras 22.10/22.21*). Las arterias de la pelvis y de las extremidades inferiores incluyen las **arterias ilíacas comunes derecha** e **izquierda,** que se ramifican en las **arterias ilíacas externa** e **interna.** Las **arterias femoral** y **femoral profunda** irrigan las extremidades inferiores *(v. figura 22.18)*. Las arterias del pie pueden observarse en las *figuras 22.18 y 22.20*.
9. La **vena cava superior (VCS)** recibe sangre de la cabeza, cuello, tórax, hombros y extremidades superiores. La distribución detallada de estos vasos colectores y sus ramas puede verse en las *figuras 22.21 a 22.24*. La **vena cava inferior (VCI)** recoge la mayoría de la sangre venosa de los órganos y estructuras inferiores al diafragma que no son drenadas por la vena porta hepática. La distribución detallada de estos vasos colectores y sus ramas puede verse en las *figuras 22.23 y 22.26*.
10. Cualquier vaso sanguíneo que conecta dos lechos capilares se denomina *vaso porta* y la red de vasos sanguíneos configura un *sistema porta*.
11. La sangre que abandona los capilares proporcionada por las arterias celíaca, mesentérica superior e inferior, fluye al **sistema porta hepático.** La sangre en el sistema porta hepático es peculiar comparada con la del resto de venas sistémicas, porque la sangre portal contiene una alta concentración de nutrientes. Estas sustancias son recogidas de los órganos digestivos a través de los vasos del sistema portal y son transportados directamente al hígado para su procesamiento *(v. figura 22.26b)*.
12. Los vasos que forman el sistema portal hepático se muestran en la *figura 22.26*.

Cambios cardiovasculares en el nacimiento 599

1. Durante el desarrollo fetal, las **arterias umbilicales** transportan sangre a la placenta. Esta vuelve a través de la **vena umbilical** y entra en una red de senos vasculares en el hígado. El **conducto venoso** recoge esta sangre y la devuelve a la vena cava inferior *(v. figura 22.27 y «El desarrollo del aparato cardiovascular» en el capítulo 28)*.
2. En este momento, el tabique interauricular es incompleto y el **agujero oval** permite el paso de sangre de la aurícula derecha a la aurícula izquierda. El **conducto arterioso** también permite el flujo de sangre entre el tronco pulmonar y el cayado aórtico. En el nacimiento o poco después, a medida que el circuito pulmonar se vuelve funcional, estas conexiones normalmente se cierran, formando una depresión conocida como **fosa oval,** donde estaba el agujero oval, y el **ligamento arterioso,** donde se encontraba el conducto arterioso *(v. figura 22.27 y «El desarrollo del aparato cardiovascular» en el capítulo 28)*.

Envejecimiento y aparato cardiovascular 603

1. Los cambios en el aparato cardiovascular relacionados con la edad incluyen: 1) disminución del hematocrito; 2) vasoconstricción o taponamiento de las venas periféricas por **trombos** (coágulo sanguíneo inmóvil), y 3) acumulación de sangre en las venas de la parte inferior de las piernas dado que las válvulas no funcionan eficazmente.
2. Los cambios anatómicos en el corazón relacionados con la edad incluyen: 1) disminución del gasto cardíaco máximo; 2) reducción en la elasticidad del esqueleto fibroso; 3) aterosclerosis progresiva que puede restringir la circulación coronaria, y 4) sustitución de las fibras musculares cardíacas dañadas por tejido cicatricial.
3. Los cambios en los vasos sanguíneos relacionados con la edad se deben frecuentemente a la arterioesclerosis e incluyen: 1) paredes arteriales inelásticas menos tolerantes a aumentos repentinos en la presión, lo que puede provocar un **aneurisma;** 2) sales cálcicas, que pueden depositarse en las paredes vasculares debilitadas, aumentando el riesgo de una embolia o un infarto, y 3) trombos que se forman en las placas ateroscleróticas.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. arterias elásticas	a. proporcionan sangre a la cabeza
___ 2. trombo	b. arterias de distribución
___ 3. colaterales	c. arterias de conducción
___ 4. venas renales	d. coágulo sanguíneo inmóvil
___ 5. arterias ilíacas	e. red de capilares
___ 6. alvéolos	f. arterias que irrigan una red de capilares
___ 7. arterias carótidas	g. proporciona sangre a las extremidades superiores
___ 8. arterias subclavias	h. pequeños sacos aéreos
___ 9. plexo capilar	i. proporciona sangre a las extremidades inferiores
___10. arterias musculares	j. recoge la sangre de los riñones

11. Comparado con las arterias, las venas:
    (a) son más elásticas
    (b) tienen paredes más finas
    (c) tienen más músculo liso en la media
    (d) tienen un endotelio plegado

12. Los capilares que tienen una capa completa se llaman:
    (a) capilares continuos (b) capilares fenestrados
    (c) capilares sinusoides (d) sinusoides

13. Los únicos vasos sanguíneos cuyas paredes permiten intercambio entre la sangre y los líquidos intersticiales circundantes son:
    (a) las arterias (b) las arteriolas
    (c) las venas (d) los capilares

14. El flujo sanguíneo a través de los capilares está regulado por:
    (a) anastomosis arteriales (b) canal central
    (c) *vasa vasorun* (d) esfínter precapilar

15. La sangre del encéfalo regresa al corazón a través de:
    (a) la arteria vertebral
    (b) la vena yugular interna
    (c) la vena yugular externa
    (d) la vena ácigos

16. Las ramas del cayado aórtico incluyen:
    (a) la arteria subclavia izquierda
    (b) la arteria subclavia derecha
    (c) la arteria axilar derecha
    (d) la arteria carótida común derecha

17. Durante el aumento del ejercicio:
    (a) aumenta el volumen del latido
    (b) disminuye el gasto cardíaco
    (c) aumenta el retorno venoso
    (d) se produce la vasoconstricción en los músculos estriados activos.

18. En la pierna, la arteria femoral se convierte en:
    (a) la arteria poplítea (b) la arteria femoral profunda
    (c) la arteria tibial (d) la arteria ilíaca

19. La fusión de las venas braquiocefálicas forma:
    (a) la vena ácigos (b) la vena cava superior
    (c) la vena cava inferior (d) la vena subclavia

20. Los individuos de edad avanzada habitualmente tienen:
    (a) aumento del hematocrito
    (b) arterias duras, inelásticas
    (c) aumento del retorno venoso
    (d) disminución de la presión arterial

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Una diferencia fundamental entre en sistema arterial y venoso es:
    (a) las arterias son habitualmente más superficiales que las venas
    (b) en las piernas hay un doble sistema de drenaje venoso
    (c) las venas están habitualmente menos ramificadas que las arterias
    (d) las venas exhiben un patrón más ordenado de ramificación en las piernas

2. Esperaría encontrar capilares fenestrados en:
    (a) el páncreas (b) los músculos estriados
    (c) el músculo cardíaco (d) el bazo

3. ¿Por qué la capa endotelial de una arteria constreñida parece tener pliegues?
    (a) los espacios entre las células endoteliales permiten que la capa se arrugue cuando la arteria está constreñida
    (b) la capa endotelial no puede contraerse, por eso se pliega cuando la arteria se contrae
    (c) las regiones de expansión de la arteria se pliegan cuando esta se constriñe
    (d) los *vasa vasorum* se contraen de forma irregular
    (e) ninguna de las anteriores

4. ¿Cuáles serían ejemplos de arterias elásticas?

5. ¿Dónde se encuentran los sinusoides?

6. ¿Qué son las anastomosis arteriovenosas?

7. ¿Cuál es la función de las válvulas venosas en las piernas?

8. ¿Qué tres arterias elásticas se originan a lo largo del cayado aórtico?

9. ¿De qué regiones del cuerpo recibe sangre la vena cava superior?

10. ¿Cuál es la función del agujero oval en el corazón fetal?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿Por qué puede ser peligroso apretar espinillas en la región nasal alta y en las cejas?

2. A John le encanta sumergirse en jacuzzis y piscinas. Un día decide aumentar la temperatura de su jacuzzi al máximo. Tras unos minutos en el agua, se marea, se desmaya y casi se ahoga. Felizmente, es salvado por un testigo. Explique qué pasó.

3. El abuelo de Millie padece insuficiencia cardíaca congestiva. Cuando ella le visita, se da cuenta de que sus tobillos y pies parecen hinchados. Le pregunta por qué ocurre esto. ¿Qué le diría?

23

Sistema linfático

Introducción 609

Revisión del sistema linfático 609

Estructura de los vasos linfáticos 610

Linfocitos 613

Tejidos linfáticos 616

Órganos linfáticos 617

Envejecimiento y sistema linfático 625

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las funciones que desempeña el sistema linfático como parte de las defensas del organismo.
2. Identificar los principales componentes del sistema linfático.
3. Explicar el origen de la linfa y sus relaciones con la sangre.
4. Comparar la estructura de los vasos linfáticos y las venas.
5. Describir la localización, la estructura y la función de los vasos linfáticos.
6. Esbozar las pautas de la circulación linfática.
7. Comentar la importancia de los linfocitos y explicar en qué parte del organismo se encuentran.
8. Describir la activación de los linfocitos.
9. Explicar brevemente el papel que desempeñan los diferentes componentes del sistema linfático en la respuesta inmunitaria.
10. Describir las relaciones anatómicas y funcionales entre el sistema linfático y el aparato cardiovascular y correlacionar las estructuras del tejido linfático con las defensas contra la enfermedad.
11. Explicar la localización, la estructura y las funciones de los principales ganglios linfáticos.
12. Describir la localización, la estructura y las funciones del bazo.
13. Describir los cambios que experimenta el sistema inmunitario con la edad.

El mundo no siempre trata bien al cuerpo humano. Las colisiones accidentales y la interacción con los objetos que nos rodean producen chichones, cortes y quemaduras. A los efectos de una lesión pueden sumarse diferentes virus, bacterias y otros microorganismos que proliferan en nuestro entorno. Algunos de estos microorganismos viven normalmente en la superficie y el interior de nuestros organismos, pero todos ellos pueden ocasionar perjuicios importantes. Para poder seguir vivos y sanos se necesita un esfuerzo masivo y combinado en el que intervienen muchos órganos y sistemas diferentes. En esta lucha sin fin el sistema linfático desempeña el papel estelar.

En este capítulo describiremos la organización anatómica del sistema linfático y analizaremos su interacción con otros sistemas y tejidos para defender el organismo contra las infecciones y las enfermedades.

Revisión del sistema linfático

[v. figura 23.1]

El **sistema linfático,** o *sistema linfoide*, comprende varios componentes (**v. figura 23.1**). La *linfa* es el tejido conjuntivo líquido transportado y controlado por este sistema* [pp. 62, 68]. Los vasos que transportan la linfa se denominan *vasos linfáticos* y las células suspendidas en este líquido reciben el nombre de *linfocitos*. Determinados *tejidos* y *órganos linfáticos* especializados regulan la composición de la linfa y producen linfocitos de diferentes clases.

Los vasos linfáticos se originan en los tejidos periféricos y transportan la linfa al sistema venoso. La linfa está constituida por: 1) líquido intersticial, que se parece al plasma sanguíneo, pero con una menor concentración de proteínas; 2) linfocitos, las células responsables de la respuesta inmunitaria, y 3) macrófagos de diferentes tipos [pp. 64-65]. A menudo, los vasos linfáticos se originan o atraviesan los tejidos y órganos linfáticos, unas estructuras que contienen grandes cantidades de linfocitos, macrófagos y (en muchos casos) células progenitoras linfáticas.

Funciones del sistema linfático [v. figura 23.2]

Las principales funciones del sistema linfático consisten en:

1. *Producir, mantener y distribuir linfoide:* los órganos linfáticos (como el bazo, el timo y la médula ósea) producen y almacenan linfocitos, que son esenciales para los mecanismos de defensa normales del organismo. Los tejidos y órganos linfáticos se clasifican en *primarios* o *secundarios*. Las *estructuras linfáticas primarias* contienen células progenitoras que se dividen y producen células hijas que se diferencian en células B, T o NK [p. 540]. La médula ósea y el timo adultos son estructuras linfáticas primarias. Sin embargo, la mayoría de las respuestas inmunitarias comienzan en *estructuras linfáticas secundarias*, en las que linfocitos inmaduros o activados se dividen y producen otros linfocitos del mismo tipo. Por ejemplo, la división de las células B activadas puede generar las células B adicionales necesarias para combatir una infección. Las estructuras linfáticas secundarias se localizan «en primera línea», donde se encuentran por primera vez con las bacterias invasoras. Como ejemplos podemos citar los ganglios linfáticos y las amígdalas.
2. *Mantener la volemia normal y eliminar las variaciones locales en la composición química del líquido intersticial:* la presión arterial en el extremo proximal de un capilar sistémico es de 35 mm Hg, aproximadamente. La presión arterial hace pasar agua y solutos del plasma al líquido intersticial (**v. figura 23.2**). En todos los capilares sistémicos se produce un pequeño movimiento neto de líquido del plasma al líquido intersticial. El volumen total es bastante considerable: cada día pasan al líquido

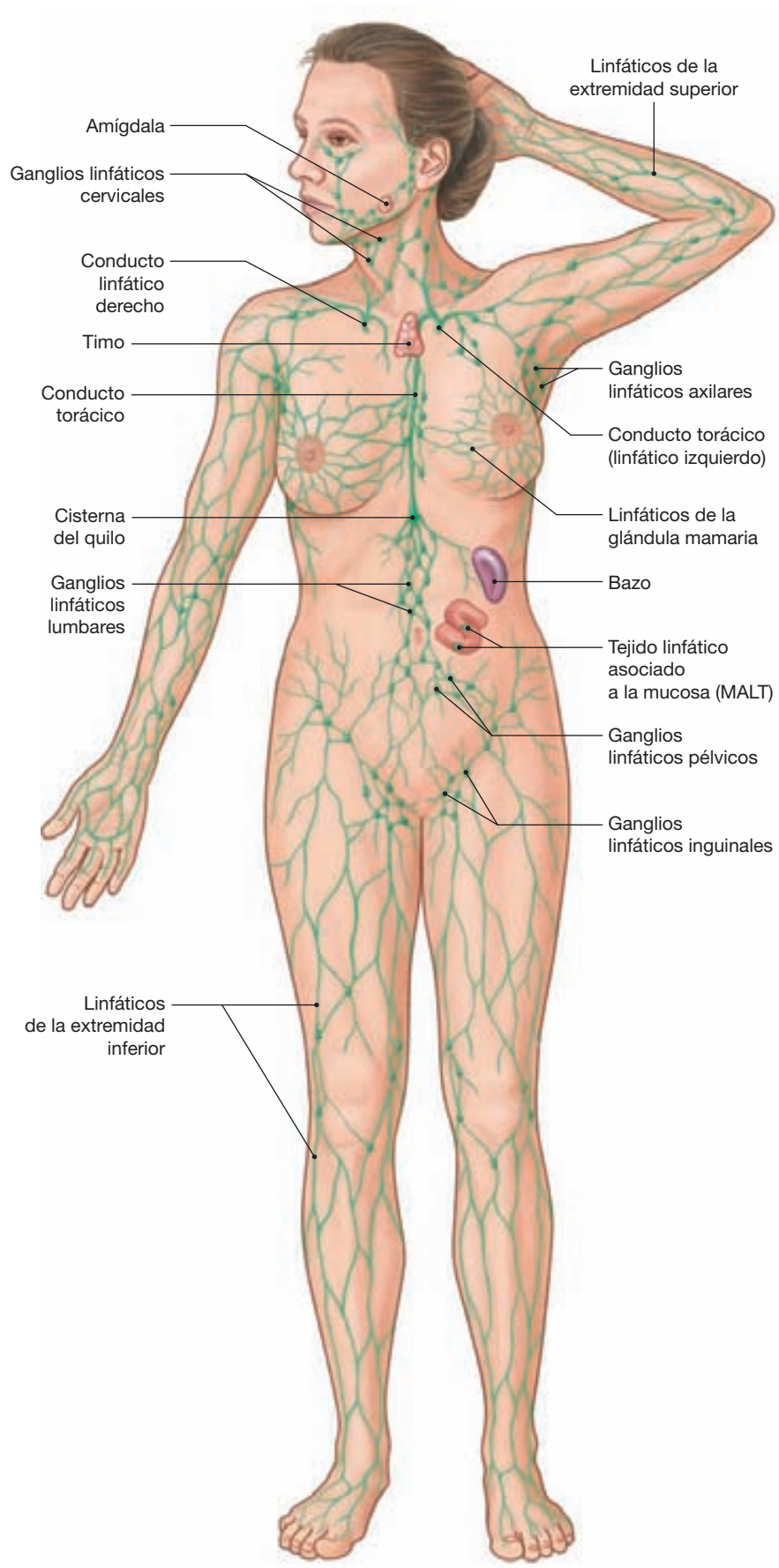
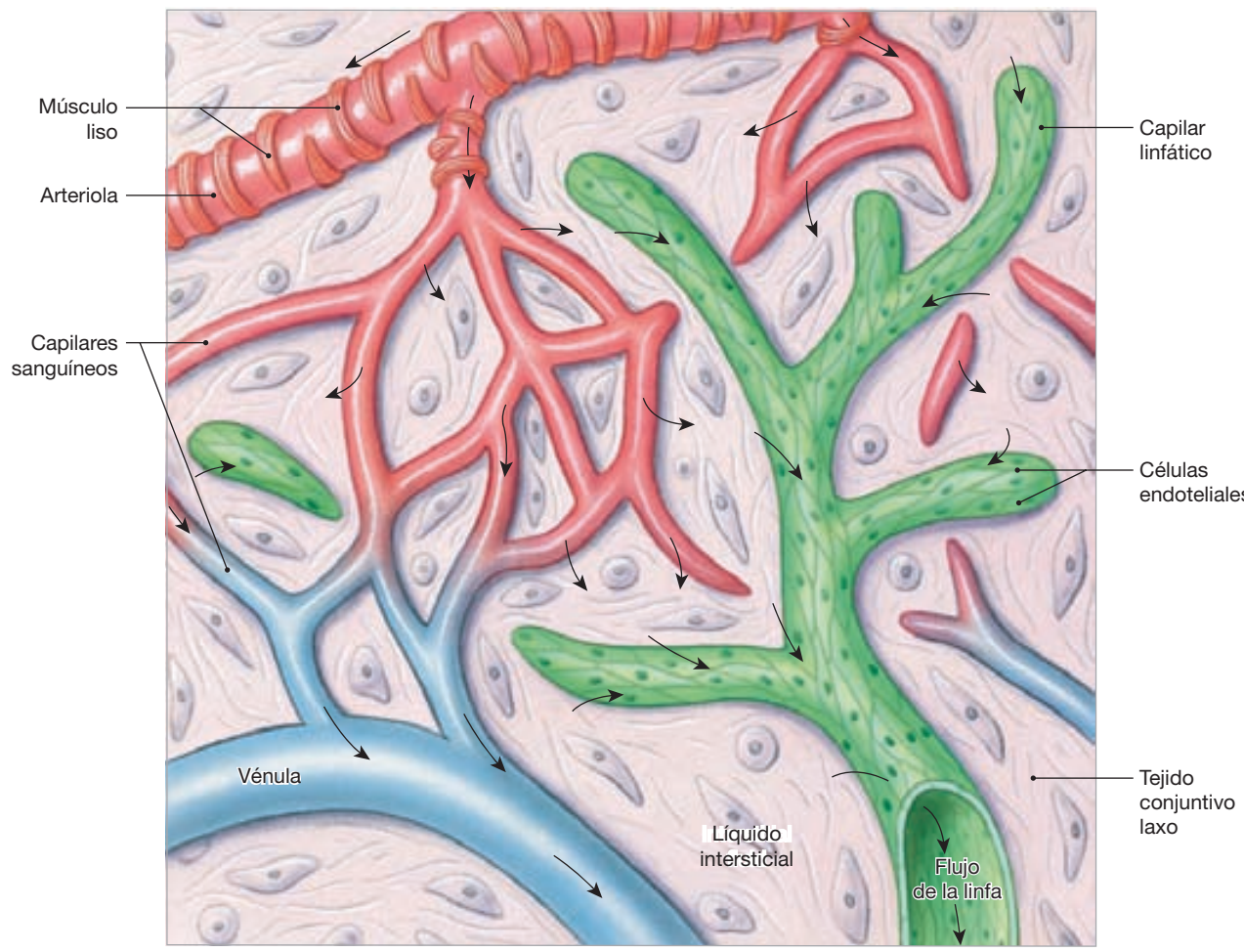


Figura 23.1 Sistema linfático
Vista general de la organización de los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos y los órganos linfáticos.

*Desde siempre se han usado indistintamente los términos «linfoide» y «linfático», y esta sinonimia se refleja en la terminología aprobada por la Terminología Anatómica.

Figura 23.2 Capilares linfáticos
Los capilares linfáticos son vasos ciegos que nacen en zonas de tejido conjuntivo laxo. **(a)** Representación tridimensional de la asociación entre capilares sanguíneos y capilares linfáticos. Las flechas indican la dirección en la que se mueven la sangre, el líquido intersticial y la linfa. **(b)** Corte transversal a través de un grupo de capilares linfáticos.



(a) Asociación entre capilares sanguíneos, tejidos y capilares linfáticos

(b) Sección transversal

intersticial aproximadamente 3,6 L, o el 72% del volumen sanguíneo total. En condiciones normales, este movimiento pasa desapercibido, ya que cada día los vasos del sistema linfático devuelven un volumen equivalente de líquido intersticial a la circulación sanguínea. Por consiguiente, se produce un movimiento continuo de líquido de la circulación sanguínea a los tejidos y de vuelta a la circulación a través de los vasos linfáticos. Esta circulación de líquido permite eliminar las diferencias regionales en la composición del líquido intersticial. Debido a este gran desplazamiento diario de líquido a través del sistema linfático, una rotura en un vaso linfático importante puede causar una disminución rápida y potencialmente mortal de la volemia.

3. *Ofrecer una vía alternativa para el transporte de hormonas, nutrientes y productos de desecho:* por ejemplo, determinados lípidos absorbidos por el tubo digestivo son transportados hasta la circulación sanguínea por vasos linfáticos en lugar de ser absorbidos por las paredes de los capilares.

Estructura de los vasos linfáticos

Los **vasos linfáticos,** denominados frecuentemente *linfáticos*, trasportan la linfa de los tejidos periféricos al sistema venoso. Igual que los vasos sanguíneos, los linfáticos son de tamaño variable, desde los *capilares linfáticos* de calibre reducido a los vasos colectores de gran diámetro, denominados *conductos linfáticos*.

Capilares linfáticos [v. figura 23.2]

La red linfática comienza con los **capilares linfáticos,** o *linfáticos terminales*, que forman una red muy compleja en el seno de los tejidos periféricos. Los capilares linfáticos se diferencian de los capilares vasculares en varios aspectos: 1) los capilares linfáticos tienen mayor diámetro y sección transversal; 2) sus paredes son más delgadas, ya que sus células endoteliales carecen de una lámina basal continua; 3) generalmente tienen un contorno plano o irregular; 4) poseen *filamentos de anclaje* colágenos que van desde la lámina basal incompleta hasta el tejido conjuntivo circundante; estos filamentos ayudan a mantener abiertas las vías de paso cuando aumenta la pre-

sión intersticial, y 5) sus células endoteliales se solapan en lugar de unirse estrechamente entre ellas (**v. figura 23.2**). La región en la que se solapan las células endoteliales actúa como una válvula unidireccional que permite el paso de líquido intersticial al capilar linfático, pero impide su salida (**v. figura 23.2b**). En muchos casos, las células endoteliales son fenestradas y gracias a los poros celulares y a los espacios entre células el líquido intersticial puede abrirse camino casi siempre hacia los capilares linfáticos. Los espacios entre las células endoteliales son bastante amplios, de tal manera que los capilares linfáticos absorben no sólo el líquido intersticial y los solutos disueltos, sino también cualquier virus o elementos anormales (como restos celulares o bacterias) presentes en los tejidos dañados o infectados. Debido a ello, un capilar linfático alberga pruebas químicas y físicas de la salud de los tejidos circundantes.

Los capilares linfáticos son especialmente numerosos en el tejido conjuntivo situado bajo la piel y las mucosas y también en la mucosa y la submucosa del tubo digestivo. En el intestino delgado existen unos capilares linfáticos muy prominentes, denominados *quilíferos*, que transportan los lípidos absorbidos por el tubo digestivo. Hay capilares linfáticos en casi todos los tejidos. Sin embargo, no hay capilares en las zonas sin vascularización, como la matriz cartilaginosa y la córnea ocular, y tampoco en la médula ósea o el sistema nervioso central.

Válvulas de los vasos linfáticos [v. figura 23.3]

Desde los capilares linfáticos, la linfa fluye hacia vasos linfáticos de mayor calibre que desembocan en los troncos linfáticos de las cavidades abdominopélvica y torácica. Los linfáticos de mayor calibre se parecen a las venas, tanto por las diferentes capas de sus paredes como por la presencia de válvulas internas. Las válvulas están bastante cerca unas de otras y los vasos linfáticos protruyen considerablemente a nivel de cada una de estas válvulas. Debido a esta configuración, los linfáticos de mayor diámetro tienen aspecto arrosariado (**v. figura 23.3**). Las presiones dentro del sistema linfático son muy bajas; de hecho, la presión del líquido intersticial es inferior a la del sistema venoso. Las válvulas impiden el flujo retrógrado de la linfa por los vasos linfáticos, especialmente por los de las extremidades. Los vasos linfáticos de mayor calibre poseen varias capas de músculo liso en sus paredes. Las contracciones rítmicas de estos vasos impulsan la linfa hacia los conductos linfáticos. Las contracciones de los músculos estriados y los movimientos respiratorios se combinan para impulsar la linfa por los vasos linfáticos. Las contracciones de los músculos estriados de las extremidades comprimen los linfáticos y empujan la linfa hacia el tronco; este es un mecanismo comparable al que favorece el retorno venoso. Con cada inspiración, la presión disminuye dentro de la cavidad torácica y la linfa es impulsada desde los vasos linfáticos de menor calibre hacia los conductos linfáticos.

Si se comprime o se bloquea un vaso linfático o si se dañan sus válvulas, el drenaje linfático se ralentiza o cesa en la zona afectada. Si el líquido sigue saliendo de los capilares vasculares de esa región pero el sistema linfático no puede evacuarlo, el volumen y la presión del líquido intersticial aumentan progresivamente, produciéndose una distensión e hinchazón de los tejidos afectados; es lo que se conoce como *linfedema*.

Los vasos linfáticos suelen asociarse a los vasos sanguíneos. Existen algunas diferencias en el tamaño relativo, el aspecto general y el patrón de ramificación que permiten distinguir los vasos linfáticos de las arterias y las venas (**v. figura 23.3a,c**). También existen diferencias en su color característico que se aprecian perfectamente al examinar los tejidos vivos. Las arterias suelen ser de color rojo brillante, las venas de color rojo oscuro y los linfáticos de color dorado claro.

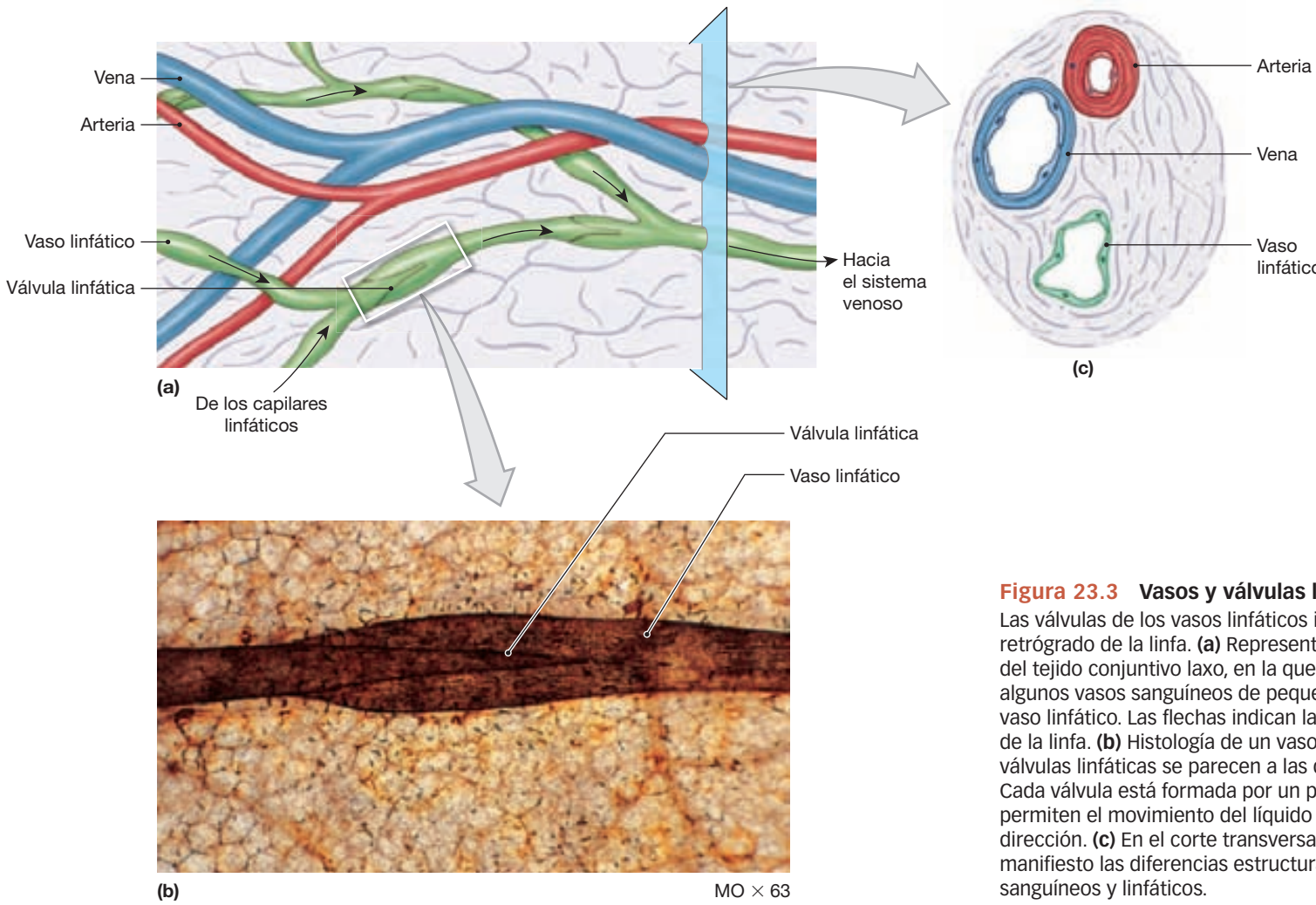


Figura 23.3 Vasos y válvulas linfáticos
Las válvulas de los vasos linfáticos impiden el flujo retrógrado de la linfa. **(a)** Representación esquemática del tejido conjuntivo laxo, en la que se pueden ver algunos vasos sanguíneos de pequeño calibre y un vaso linfático. Las flechas indican la dirección de flujo de la linfa. **(b)** Histología de un vaso linfático. Las válvulas linfáticas se parecen a las del sistema venoso. Cada válvula está formada por un par de hojas que permiten el movimiento del líquido únicamente en una dirección. **(c)** En el corte transversal se ponen de manifiesto las diferencias estructurales entre los vasos sanguíneos y linfáticos.

Principales vasos colectores linfáticos [v. figura 23.4]

Dos grupos de vasos linfáticos, los linfáticos superficiales y los linfáticos profundos, recogen la linfa procedente de los capilares linfáticos. Los **linfáticos superficiales** discurren junto con las venas superficiales y pueden encontrarse en los siguientes lugares:

- El estrato subcutáneo cercano a la piel.
- El tejido conjuntivo laxo de las mucosas que tapizan los aparatos digestivo, respiratorio, urinario y reproductor.
- El tejido conjuntivo laxo de las serosas que revisten las cavidades pleural, pericárdica y peritoneal.

Los **linfáticos profundos** son vasos linfáticos de gran calibre que acompañan a las venas y las arterias profundas. Estos vasos linfáticos recogen la linfa procedente de los músculos estriados y otros órganos del cuello, las extremidades y el tronco, así como de las vísceras de las cavidades torácica y abdominopélvica.

En el tronco, los linfáticos superficiales y profundos convergen formando vasos de mayor calibre denominados **troncos linfáticos.** Los troncos linfáticos comprenden: 1) los *troncos lumbares*; 2) los *troncos intestinales*; 3) los *troncos broncomediastínicos;* 4) los *troncos subclavios,* y 5) los *troncos yugulares* (v. figura 23.4). A su vez, los troncos linfáticos drenan en dos vasos colectores de gran diámetro, los **conductos linfáticos,** que transportan la linfa a la circulación venosa.

Conducto torácico [v. figuras 23.4/23.5]

El **conducto torácico** recoge linfa de ambos lados del cuerpo por debajo del diafragma y del lado izquierdo por encima del diafragma. El conducto torácico se origina por debajo del diafragma, a nivel de la vértebra L_2. La base del conducto torácico está formada por una cámara sacular expandida: la **cisterna del quilo** (v. figuras 23.4 y 23.5). La cisterna del quilo recibe linfa de la región inferior del abdomen, la pelvis y las extremidades inferiores a través de los *troncos lumbares derecho e izquierdo* y de los *troncos intestinales*.

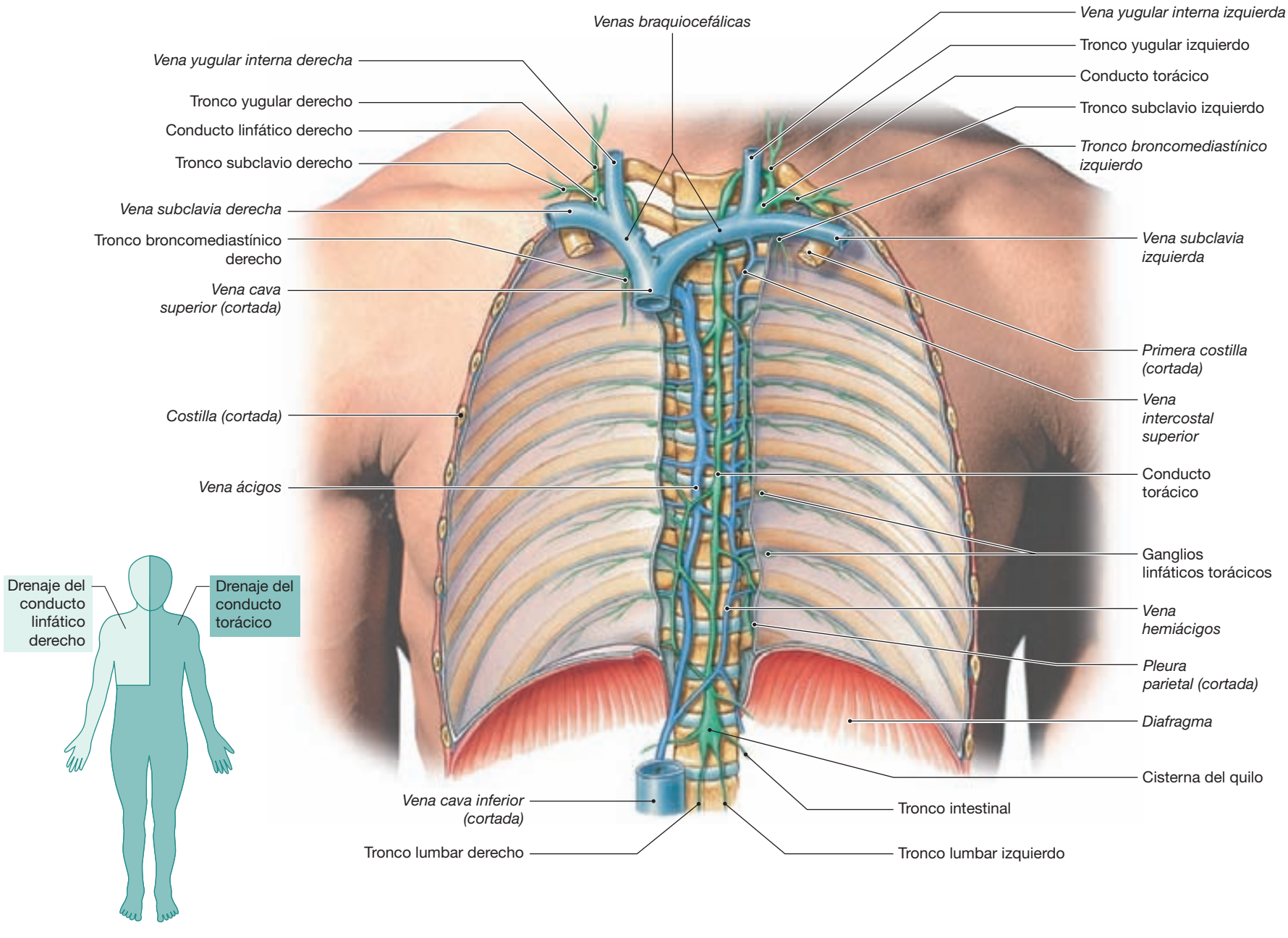


Figura 23.4 Conductos y drenaje linfáticos

El sistema colector de los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos y los principales conductos colectores linfáticos, y sus relaciones con las venas braquiocefálicas. El conducto torácico recoge la linfa de los tejidos situados por debajo del diafragma y de la parte superior izquierda del cuerpo. El conducto linfático derecho drena la mitad derecha del cuerpo por encima del diafragma.

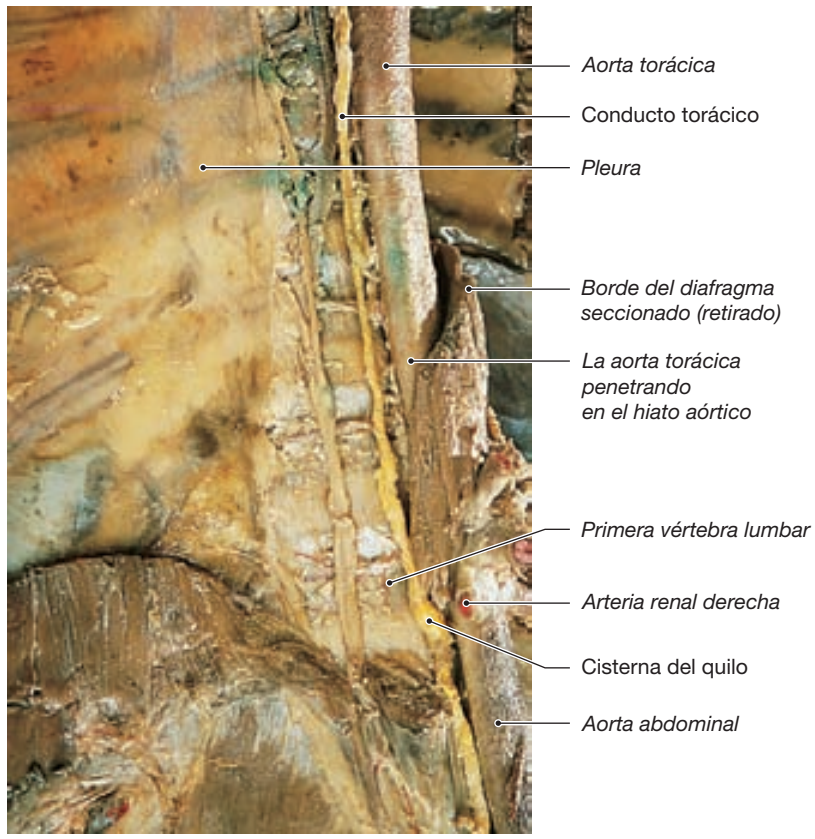


Figura 23.5 Principales vasos linfáticos del tronco
Vista anterior de una disección del conducto torácico y los vasos sanguíneos contiguos. Se han suprimido los órganos torácicos y abdominopélvicos.

El segmento inferior del conducto torácico discurre por delante de la columna vertebral. Desde su punto de origen anterior a la segunda vértebra lumbar, atraviesa el diafragma junto con la aorta por una abertura conocida como *hiato aórtico*, y asciende por el lado izquierdo de la columna vertebral hasta la altura de la clavícula izquierda. Después de recoger la linfa del *tronco broncomediastínico izquierdo,* el *tronco subclavio izquierdo* y el *tronco yugular izquierdo*, drena en la vena subclavia izquierda, cerca de la base de la vena yugular interna izquierda (**v. figura 23.4**). De este modo, la linfa procedente del lado izquierdo de la cabeza, el cuello y el tórax, así como la de todo el cuerpo por debajo del diafragma, retorna al sistema venoso.

Conducto linfático derecho [v. figura 23.4]

El **conducto linfático derecho,** relativamente pequeño, recoge la linfa del lado derecho del cuerpo por encima del diafragma. El conducto linfático derecho recibe linfa de vasos linfáticos de menor calibre que convergen en la región de la clavícula derecha. Este conducto drena en el sistema venoso o cerca de la unión entre las venas yugular interna y subclavia derechas (**v. figura 23.4**).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuál es la función principal del sistema linfático?
2. Está observando con el microscopio una sección transversal de dos capilares. El capilar número uno es mayor que el número dos y tiene una pared más delgada. El capilar número dos tiene forma redondeada, mientras que el número uno tiene un contorno irregular. ¿Cuál de los dos es probablemente un capilar linfático?
3. ¿Puede tener consecuencias mortales la rotura de un vaso linfático importante? ¿Por qué o por qué no?
4. ¿Qué estructuras linfáticas contienen células progenitoras?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Linfocitos

Los linfocitos son las principales células del sistema linfático y se encargan de la inmunidad específica [p. 540]. Responden a la presencia de: 1) microorganismos invasores, como bacterias y virus; 2) células corporales anormales, como células tumorales o infectadas por virus, y 3) proteínas extrañas, como las toxinas que liberan algunas bacterias. Los linfocitos intentan suprimir o inactivar estas amenazas mediante un ataque físico y químico combinado. Viajan por todo el organismo, circulando por los vasos sanguíneos, atravesando los tejidos periféricos y volviendo finalmente a la circulación sanguínea a través del sistema linfático. El tiempo que pasan dentro del sistema linfático es muy variable; un linfocito puede permanecer en un ganglio linfático u otro órgano linfático durante horas, días o incluso años. Cuando llegan a los tejidos periféricos, los linfocitos pueden encontrar microorganismos patógenos invasores o proteínas extrañas; mientras están en el sistema linfático, pueden quedar expuestos a microorganismos patógenos o proteínas transportados por la linfa. Con independencia de la fuente, los linfocitos responden poniendo en marcha una respuesta inmunitaria.

Tipos de linfocitos

En la sangre hay tres tipos diferentes de linfocitos: los **linfocitos** o **células T** (dependientes del timo), los **linfocitos** o **células B** (que derivan de la médula ósea) y los **linfocitos T citotóxicos** o **células T asesinas** (asesinas naturales). Cada uno de estos tipos posee unas características bioquímicas y funcionales distintivas.

Linfocitos T

Aproximadamente el 80% de los linfocitos circulantes son células T. Existen varios tipos de células T. Las **células T citotóxicas** atacan las células extrañas o las células del cuerpo infectadas por virus. Su ataque implica en muchos casos un contacto directo. Estos linfocitos se encargan de la **inmunidad celular.** Las **células T colaboradoras** y las **células T supresoras** ayudan a regular y coordinar la respuesta inmunitaria; por este motivo, reciben también el nombre de *células T reguladoras*. Las células T reguladoras controlan la activación y la actividad de las células B. Las **células T de memoria** surgen de la división de las células T activadas tras la exposición a un determinado antígeno. Reciben el nombre de células de memoria porque permanecen «en la reserva», y sólo se activan si ese mismo antígeno reaparece en el organismo en un momento posterior. Esta no es una lista completa, ya que en el organismo existen otros tipos de células T especializadas.

Linfocitos B

Los linfocitos o células B representan el 10%-15% de los linfocitos circulantes. Cuando queda expuesta a un antígeno, una célula B puede diferenciarse en un **plasmocito.** Las células plasmáticas se encargan de producir y secretar **anticuerpos** [p. 537]. Estas proteínas solubles reaccionan con determinados objetivos químicos denominados **antígenos.** Los antígenos suelen asociarse a microorganismos patógenos, a partes o productos de microorganismos patógenos o a otros compuestos extraños. La mayoría de los antígenos son cadenas peptídicas cortas o secuencias cortas de aminoácidos dentro de una proteína compleja, aunque también pueden estimular la síntesis de anticuerpos algunos lípidos, polisacáridos y ácidos nucleicos. Cuando un anticuerpo se une a su antígeno correspondiente, pone en marcha una cadena de acontecimientos que conduce a la destrucción, la neutralización o la supresión del antígeno. Los anticuerpos son conocidos también como **inmunoglobulinas.** Dado que la sangre es la principal vía de distribución de las inmunoglobulinas, se dice que las células B se encargan de la **inmunidad mediada por anticuerpos** o *inmunidad humoral* («líquida»). Las **células B de memoria** se forman por la división de las células B activadas; dicha activación se produce tras la exposición a un determinado antígeno. Las células B de memoria se activan únicamente si ese mismo antígeno reaparece en el organismo en algún momento posterior.

Las células T colaboradoras favorecen la diferenciación de las células plasmáticas y aceleran la síntesis de anticuerpos. Las células T supresoras inhiben la formación de células plasmáticas y reducen la producción de anticuerpos por las células plasmáticas existentes.

Linfocitos T citotóxicos

El 5%-10% restante de linfocitos circulantes son linfocitos T citotóxicos y células NK, también conocidos como *linfocitos granulares grandes*. Estos linfocitos atacan las células extrañas, las células normales infectadas por virus y las células tumorales que aparecen en los tejidos normales. Se denomina **vigilancia inmunológica** al control continuo de los tejidos periféricos por las células NK y los macrófagos activados.

Linfocitos y respuesta inmunitaria

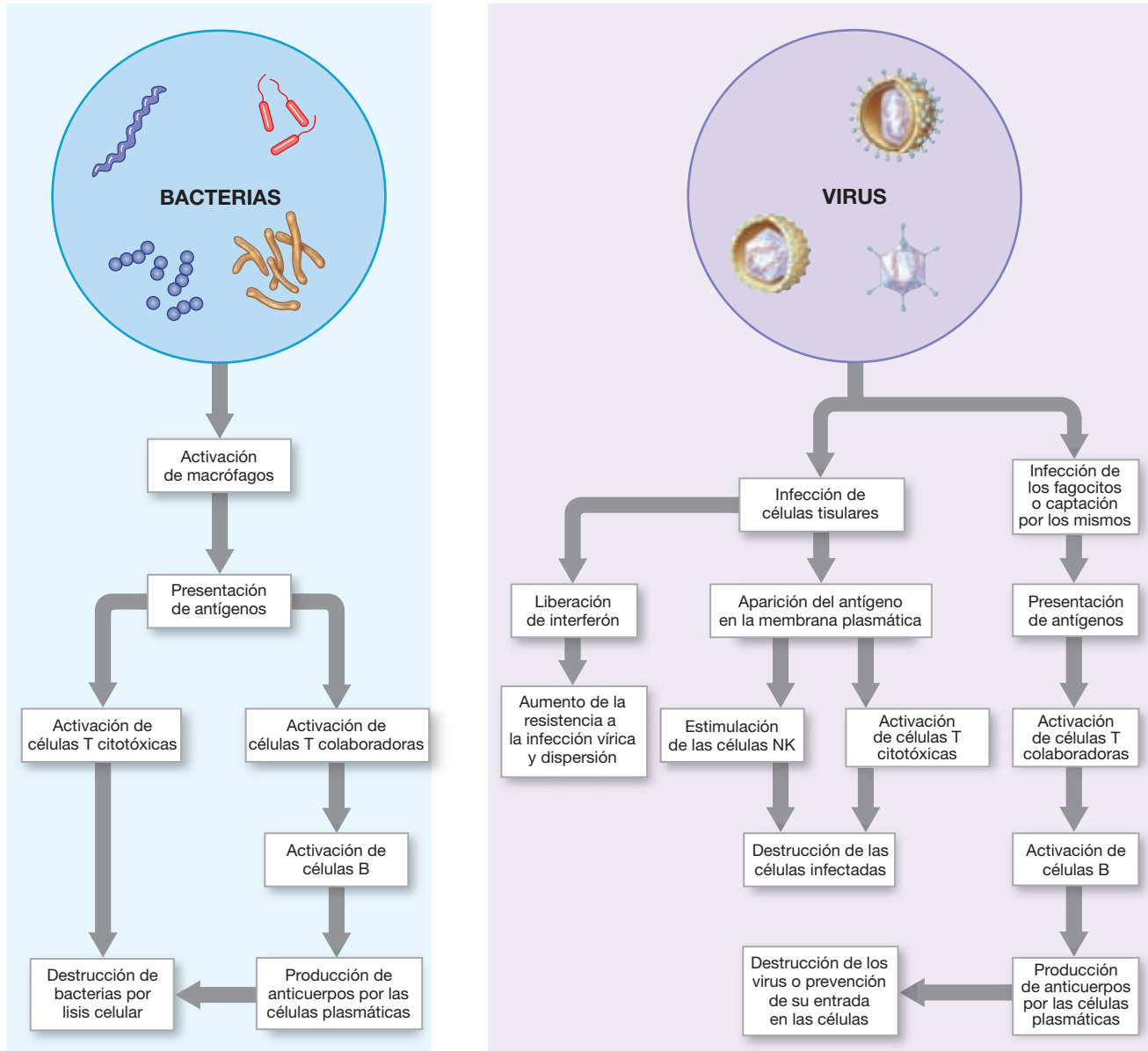
[v. figura 23.6]

El objetivo de la **respuesta inmunitaria** consiste en la destrucción o inactivación de microorganismos patógenos, células anormales y moléculas extrañas (como toxinas). El organismo puede conseguirlo de dos maneras:

1. Mediante el ataque directo de las células T activadas *(inmunidad celular)*.
2. Mediante el ataque de los anticuerpos circulantes liberados por las células plasmáticas originados a partir de las células B activadas *(inmunidad humoral)*.

En la **figura 23.6** se ofrece una visión general de la respuesta inmunitaria a las infecciones bacterianas y víricas. Cuando aparece un antígeno, la primera fase de la respuesta inmunitaria suele consistir en la fagocitosis del antígeno por un macrófago. A continuación, el macrófago expone los fragmentos del antígeno en su membrana celular. De este modo, el macrófago «presenta» el antígeno a las células T, como parte de un proceso denominado *presentación antigénica*. Las células T que responden son sensibles a ese antígeno en concreto y a ningún otro. Estos linfocitos responden porque su plasmalema contiene receptores capaces de unirse a ese antígeno en particular. Cuando se produce la unión, las células T se activan y empiezan a dividirse. Algunas células hijas se diferencian en células T citotóxicas, otras en células T que activan a su vez las células B, y otras se convierten en células T de memoria que sólo se diferencian posteriormente si se encuentran nuevamente con ese antígeno en otro momento.

Nuestro sistema inmunitario no puede saber nunca con qué antígenos se va a encontrar. Su estrategia protectora consiste en prepararse contra *cualquier* antígeno que pueda aparecer. Durante el proceso de desarrollo, la diferenciación de las células del sistema linfático da lugar a un número enorme de linfocitos con diferente sensibilidad antigénica. Se denomina *inmunocompetencia* a


BACTERIAS
Activación de macrófagos
Presentación de antígenos
Activación de células T citotóxicas
Activación de células T colaboradoras
Activación de células B
Destrucción de bacterias por lisis celular
Producción de anticuerpos por las células plasmáticas
VIRUS
Infección de células tisulares
Infección de los fagocitos o captación por los mismos
Liberación de interferón
Aparición del antígeno en la membrana plasmática
Presentación de antígenos
Aumento de la resistencia a la infección vírica y dispersión
Estimulación de las células NK
Activación de células T citotóxicas
Activación de células T colaboradoras
Destrucción de las células infectadas
Activación de células B
Destrucción de los virus o prevención de su entrada en las células
Producción de anticuerpos por las células plasmáticas

(a) Defensa contra las bacterias **(b) Defensa contra los virus**

Figura 23.6 Linfocitos y respuesta inmunitaria

(a) La defensa contra las bacterias patógenas suele empezar por los macrófagos activos. **(b)** La defensa contra los virus suele activarse tras la infección de las células normales. En ambos casos, las células B y T cooperan para producir un ataque químico y físico coordinado.

la capacidad de un linfocito para reconocer un determinado antígeno. Dentro de los aproximadamente mil millones de linfocitos del cuerpo humano existen millones de poblaciones de linfocitos diferentes. Cada población está constituida por varios miles de células preparadas para reconocer un antígeno específico. Cuando uno de estos linfocitos se une a un antígeno, se activa y empieza a dividirse para producir más linfocitos sensibles a ese mismo antígeno. Algunos linfocitos empiezan a funcionar inmediatamente para eliminar el antígeno, mientras que otros (las células de memoria) estarán preparados por si el antígeno reaparece posteriormente. Este mecanismo permite una defensa inmediata y garantiza una respuesta todavía más rápida y contundente si el antígeno aparece nuevamente en el organismo en algún momento posterior.

Distribución y vida media de los linfocitos

La proporción de células B y T varía dependiendo del tejido o el órgano que consideremos. Por ejemplo, las células B son muy escasas en el timo; en la sangre hay una proporción de células T y B de 8:1. Esta proporción disminuye a 1:1 en el bazo y a 1:3 en la médula ósea.

Los linfocitos de estos órganos son visitantes, no residentes. Los linfocitos se desplazan continuamente por todo el organismo; deambulan por un tejido y después pasan a un vaso sanguíneo o linfático para trasladarse a otra zona. Las células T se mueven con relativa rapidez. Por ejemplo, una célula T errante puede pasar unos 30 minutos en la sangre y 15-20 horas en un ganglio linfático. Las células B se mueven más lentamente; una célula B típica pasa aproximadamente 30 horas en un ganglio linfático antes de trasladarse a otra zona.

En general, los linfocitos tienen una vida media relativamente larga, bastante más prolongada que la de otros elementos formes de la sangre. Aproximadamente el 80% de los linfocitos sobreviven durante 4 años y algunos durante 20 años o más. A lo largo de la vida, las poblaciones normales de linfocitos se mantienen gracias al proceso de la *linfopoyesis*.

Linfopoyesis: producción de linfocitos

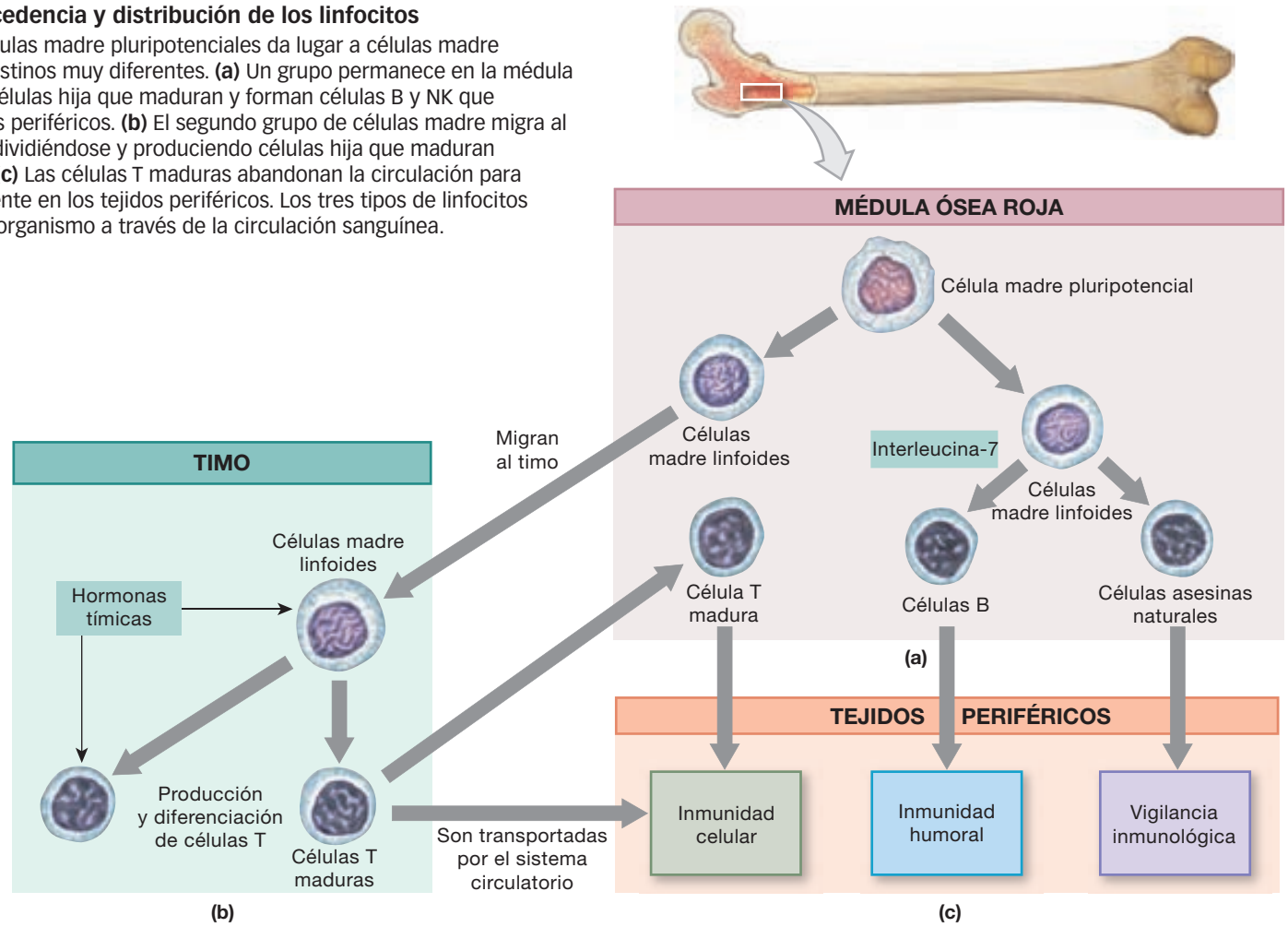
[v. figura 23.7]

La **linfopoyesis** tiene lugar en la médula ósea y el timo. En la **figura 23.7** se pueden ver las relaciones que existen entre la médula ósea, el timo y los tejidos linfáticos periféricos durante la producción, la maduración y la distribución de los linfocitos.

Las células linfáticas pluripotenciales de la médula ósea producen células madre linfocíticas con dos destinos muy diferentes. Un grupo permanece en la médula ósea. Estas células madre se dividen produciendo células NK y B, que adquieren inmunocompetencia y migran a los tejidos periféricos. Las células NK circulan constantemente por los tejidos periféricos, mientras que las células B se alojan en los ganglios linfáticos, el bazo y los tejidos linfáticos. El segundo grupo de células madre migra al timo. Por influencia de las hormonas tímicas (timosina-1, timopentina, timulina y otras), estas células progenitoras se dividen una y otra vez, dando lugar a células hijas que maduran funcionalmente para convertirse en células T. Posteriormente, estas células T migran al bazo, a otros órganos linfáticos y a la médula ósea.

Durante su migración por los tejidos periféricos, un linfocito conserva su capacidad para dividirse. Sus divisiones dan lugar a células hijas del mismo tipo y sensibles al mismo antígeno específico. Por ejemplo, una célula B que se divide produce otras células B, no células T o NK. La capacidad para incrementar el número de linfocitos de un determinado tipo tiene una gran importancia para el éxito de la respuesta inmunitaria. Si disminuye esta capacidad, el individuo no podrá montar una defensa eficaz contra las infecciones y las enfermedades. Por ejemplo, el *SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida)* se debe a la infección por un virus que destruye selectivamente las células T. Las personas con SIDA pueden morir a causa de infecciones bacterianas o víricas que un sistema inmunitario normal suprimiría fácilmente.

Figura 23.7 Procedencia y distribución de los linfocitos
La división de las células madre pluripotenciales da lugar a células madre linfáticas con dos destinos muy diferentes. **(a)** Un grupo permanece en la médula ósea, produciendo células hija que maduran y forman células B y NK que acceden a los tejidos periféricos. **(b)** El segundo grupo de células madre migra al timo, donde siguen dividiéndose y produciendo células hija que maduran formando células T. **(c)** Las células T maduras abandonan la circulación para alojarse temporalmente en los tejidos periféricos. Los tres tipos de linfocitos circulan por todo el organismo a través de la circulación sanguínea.

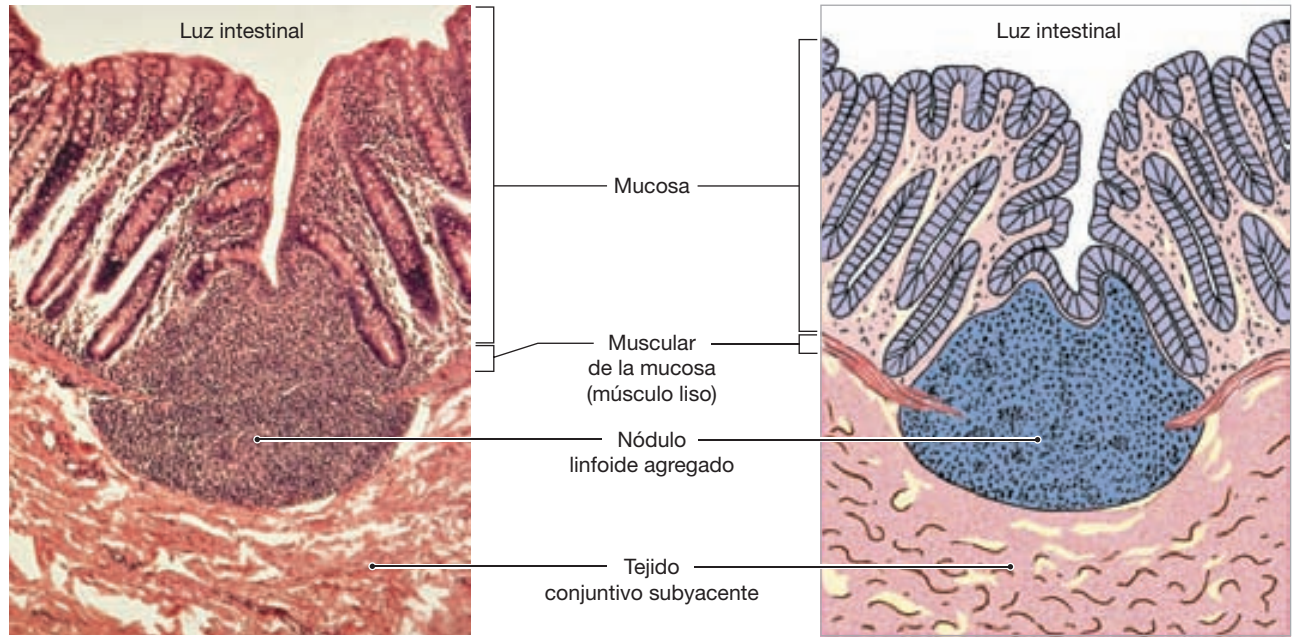


Tejidos linfáticos [v. figura 23.8]

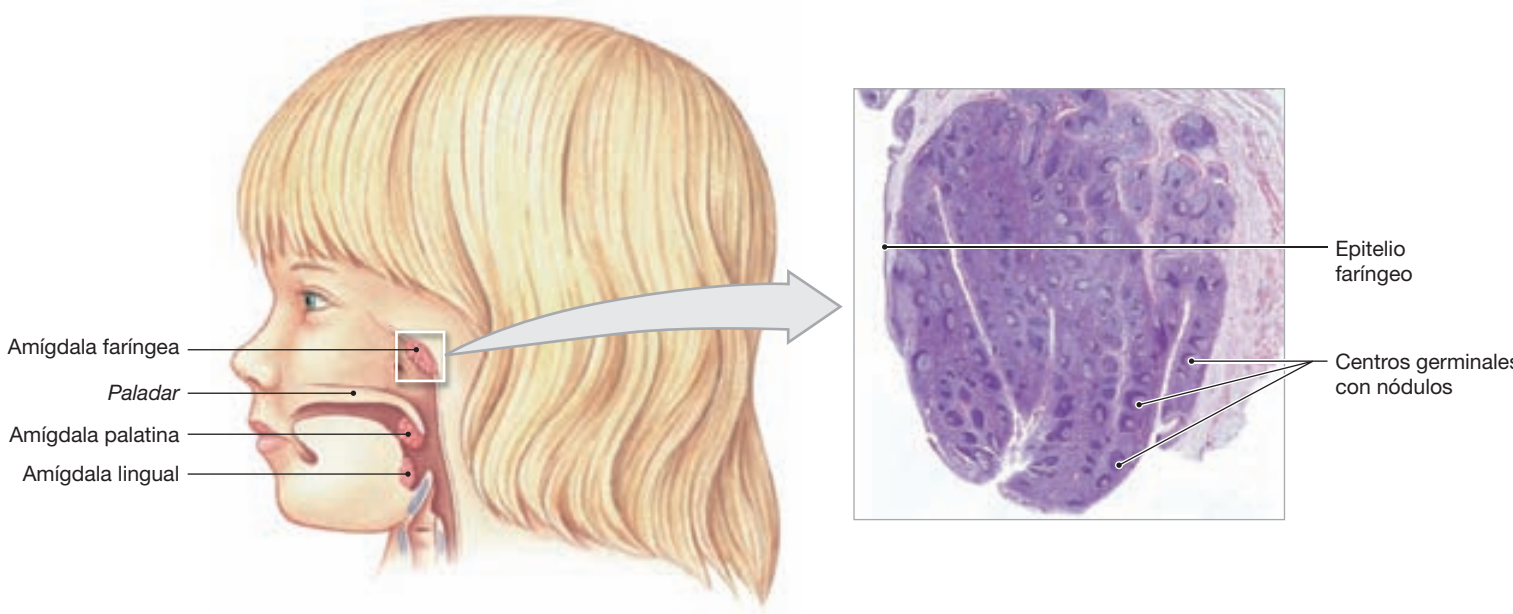
Los **tejidos linfáticos** son tejidos conjuntivos dominados por los linfocitos. En el **tejido linfático difuso,** los linfocitos forman agregados inconexos en el interior del tejido conjuntivo de la mucosa de las vías respiratorias o urinarias. Los **nódulos linfáticos** son agregados de linfocitos incluidos en un armazón de sostén formado por fibras reticulares. Generalmente, los nódulos linfáticos son de forma ovalada y se localizan en el interior de la pared de diferentes tramos del tubo digestivo, incluyendo el íleon y la vesícula biliar (v. figura 23.8a). Los nódulos linfáticos típicos tienen un diámetro medio de un milímetro, pero sus límites son muy borrosos debido a que no están rodeados por una cápsula fibrosa. A menudo presentan una zona clara central, denominada **centro germinal,** que contiene linfocitos activados en proceso de división (v. figura 23.8b).

El tubo digestivo posee una red muy extensa de nódulos linfáticos, conocidos en conjunto como **tejido linfático asociado a la mucosa (MALT)**. En la pared de la faringe hay nódulos de gran tamaño denominados **amígdalas** (v. figura 23.8b). Los linfocitos de las amígdalas atrapan y eliminan los microorganismos patógenos que entran en la faringe a través del aire inspirado o los alimentos. Normalmente existen cinco amígdalas:

- Una sola **amígdala faríngea,** también conocida como *adenoides*, en la pared posterosuperior de la nasofaringe.
- Un par de **amígdalas palatinas** en el borde posterior de la cavidad oral, en el límite entre la faringe y el paladar blando.
- Un par de **amígdalas linguales** que no son visibles debido a que se encuentran en la base de la lengua.



(a) Nódulo linfoide agregado (tubo digestivo)



(b) Amígdala faríngea (aparato respiratorio)

Figura 23.8 Histología de los tejidos linfáticos
(a) Aspecto histológico de un nódulo linfático aislado del intestino grueso. **(b)** Localización de las amígdalas y organización histológica de una de ellas.

Nota clínica

Nódulos linfáticos infectados Los nódulos linfáticos pueden verse desbordados por una invasión de microorganismos patógenos. El resultado es una infección localizada que se acompaña de hinchazón regional y molestias. Las amígdalas representan una primera línea de defensa contra la infección de las paredes faríngeas.

Una persona con amigdalitis tiene las amígdalas infectadas. Los síntomas consisten en dolor de garganta, fiebre alta y a menudo leucocitosis (un recuento de leucocitos anormalmente elevado). Las amígdalas afectadas (normalmente las faríngeas) se hinchan e inflaman, y a veces aumentan tanto de tamaño que llegan a bloquear parcialmente la entrada a la tráquea. La respiración puede resultar muy dificultosa o, en los casos más graves, imposible. Si la infección avanza, pueden formarse abscesos en el interior del tejido amigdalino o periamigdalino. Las bacterias pueden acceder a la circulación sanguínea atravesando los capilares y vasos linfáticos hacia el sistema venoso.

En las fases iniciales es posible controlar la infección con antibióticos, pero una vez que se forman abscesos el tratamiento de elección consiste en el drenaje quirúrgico de los mismos y la **amigdalectomía,** o extirpación de las amígdalas. En otros tiempos, antes de la aparición de los antibióticos, se solía optar por la amigdalectomía para prevenir las infecciones amigdalinas recurrentes. Esta intervención reduce la incidencia y la gravedad de las infecciones posteriores, pero han surgido dudas acerca del precio que tiene que pagar el paciente, especialmente ahora que disponemos de los antibióticos para tratar las infecciones graves.

La **apendicitis** se produce generalmente tras una erosión del revestimiento epitelial del apéndice vermiforme. La ulceración inicial puede deberse a diferentes factores, sobre todo a bacterias o virus patógenos. Las bacterias que habitan normalmente en la luz del intestino grueso pueden atravesar el epitelio y acceder a los tejidos subyacentes. Se produce una reacción inflamatoria y puede cerrarse la abertura entre el apéndice vermiforme y el resto del tubo digestivo. Se aceleran la secreción mucosa y la formación de pus y el órgano se va distendiendo progresivamente. En última instancia, el apéndice distendido e inflamado puede romperse, o *perforarse*. En tal caso, las bacterias penetran en los límites húmedos, templados y oscuros del espacio peritoneal, en donde pueden causar una peritonitis muy grave. El tratamiento más eficaz para la apendicitis consiste en la resección quirúrgica del órgano, una intervención conocida como **apendicectomía.**

Las agrupaciones de nódulos linfáticos presentes en la mucosa del intestino delgado se denominan **nódulos linfáticos agregados,** o *placas de Peyer*. Además, las paredes del *apéndice* (una bolsa ciega que nace cerca de la unión entre los intestinos delgado y grueso) contienen una masa de nódulos linfáticos fusionados.

Los linfocitos de esos nódulos linfáticos no son siempre capaces de destruir los invasores bacterianos o víricos que atraviesan el epitelio del tubo digestivo. En tal caso, puede desarrollarse una infección; entre los ejemplos más conocidos cabe citar la *amigdalitis* y la *apendicitis*.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de linfocito es el más frecuente?
2. John se ha infectado por un microorganismo patógeno. Algunos meses después, mientras goza relativamente de buena salud, se expone nuevamente al mismo patógeno. ¿Enfermará nuevamente de una forma definitiva? ¿Por qué o por qué no?
3. Los linfocitos circulantes conservan su capacidad para dividirse. ¿Por qué es esto tan importante?
4. ¿Qué nombre reciben los grupos de nódulos linfáticos que pueden encontrarse en la mucosa del intestino delgado?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Órganos linfáticos

Los **órganos linfáticos** están separados de los tejidos circundantes por una cápsula del tejido conjuntivo fibroso. Estos órganos comprenden los *ganglios linfáticos*, el *timo* y el *bazo*.

Ganglios linfáticos [v. figuras 23.1/23.4/23.9 a 23.14]

Los **ganglios linfáticos** son unos órganos linfáticos pequeños y ovalados, con un diámetro que oscila entre 1 y 25 mm. En la figura 23.1, p. 609, se puede ver el patrón de distribución general de los ganglios linfáticos en el organismo. Cada ganglio linfático está recubierto por una densa cápsula del tejido conjuntivo fibroso. Unas extensiones fibrosas de esta cápsula exterior penetran parcialmente en el interior del ganglio. Estas extensiones fibrosas reciben el nombre de *trabéculas* (v. figura 23.9).

Los vasos sanguíneos y los nervios se unen al ganglio linfático a nivel de la depresión, o **hilio** (v. figura 23.9). Cada ganglio linfático contiene dos grupos de vasos linfáticos: los *linfáticos aferentes* y los *linfáticos eferentes*. Los vasos linfáticos aferentes, que transportan linfa de los tejidos periféricos al ganglio, penetran en la cápsula por el polo opuesto al hilio. Posteriormente, la linfa fluye lentamente a través del ganglio linfático por una red de senos, que son conductos abiertos con paredes incompletas. Cuando la linfa llega al ganglio, penetra primero en el *espacio subcapsular*, que contiene una malla de fibras reticulares ramificadas, macrófagos y *células dendríticas*. Las **células dendríticas** captan los antígenos de la linfa y los presentan en sus membranas celulares. Las células T que se topan con estos antígenos unidos se activan y ponen en marcha una respuesta inmunitaria. Después de atravesar el espacio subcapsular, la linfa fluye a través de la **corteza externa** del ganglio. Esta corteza contiene agregados de células B con unos centros germinales parecidos a los de los nódulos linfáticos.

El flujo de la linfa continúa a través de los senos linfáticos de la **corteza profunda** *(zona paracortical)*. En este lugar, los linfocitos circulantes abandonan la circulación y penetran en el ganglio linfático atravesando las paredes de los vasos sanguíneos de la corteza profunda. En la zona cortical profunda predominan las células T.

Después de fluir por los senos de la corteza profunda, la linfa continúa hacia el núcleo, o **médula,** del ganglio linfático. La médula contiene células B y células plasmáticas organizadas en masas alargadas denominadas **cordones medulares.** La linfa accede a los linfáticos eferentes hiliares después de atravesar una red de senos en la médula.

Los ganglios linfáticos funcionan como un filtro de agua doméstico: filtran y purifican la linfa antes de que llegue al sistema venoso. Mientras la linfa fluye a través de un ganglio linfático, se elimina por lo menos el 99% de los antígenos presentes en la linfa aferente. Unos macrófagos fijos presentes en las paredes de los senos linfáticos engloban los restos o los microorganismos patógenos presentes en la linfa que fluye por allí. Los antígenos eliminados de esta forma son procesados posteriormente por los macrófagos y «presentados» a las células T cercanas. Otros antígenos se adhieren a la superficie de las células dendríticas, en donde pueden estimular la actividad de las células T.

Los ganglios linfáticos de mayor tamaño se encuentran en aquellos puntos en los que los linfáticos periféricos se unen con el tronco (v. figura 23.4, p. 612), en regiones como la base del cuello (v. figura 23.10), las axilas (v. figura 23.11) y

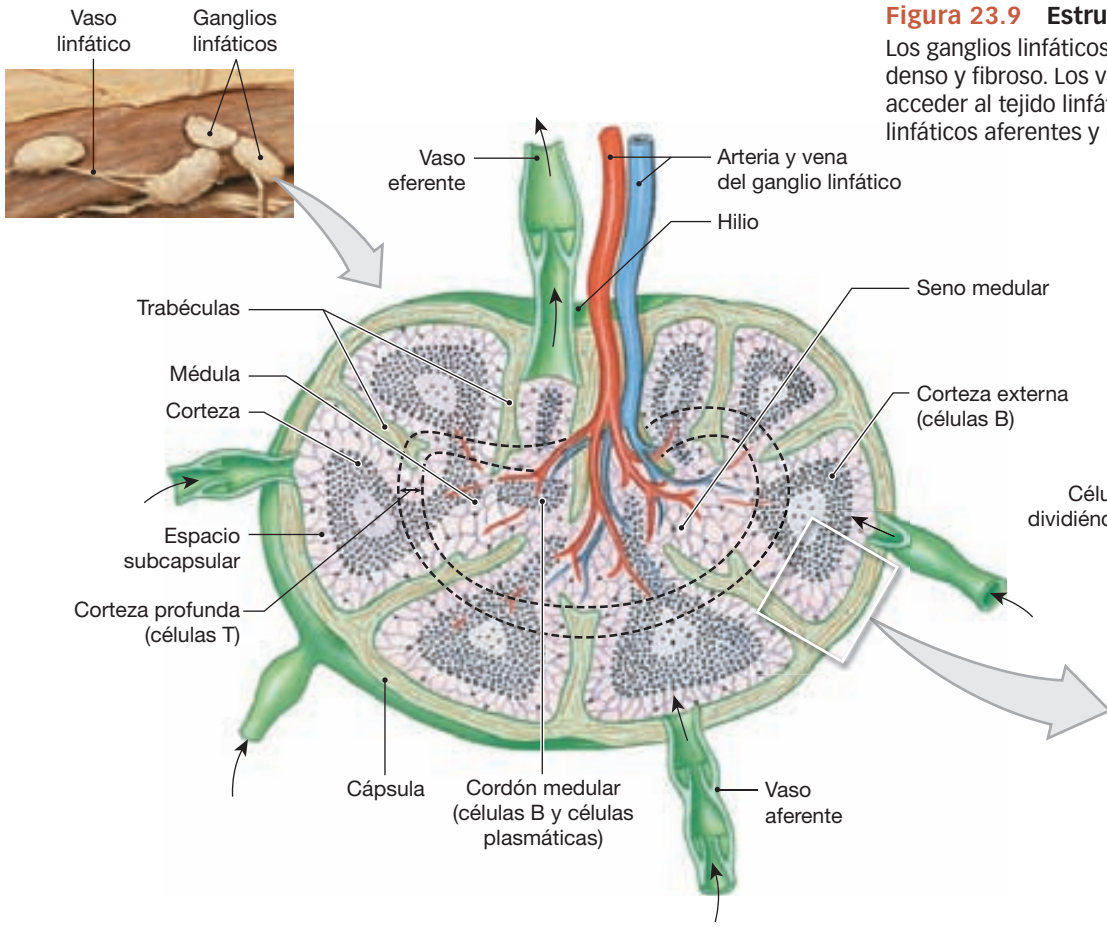


Figura 23.9 Estructura de un ganglio linfático
Los ganglios linfáticos están cubiertos por una cápsula de tejido conjuntivo denso y fibroso. Los vasos linfáticos y sanguíneos atraviesan la cápsula para acceder al tejido linfático del interior. Se puede ver que existen varios vasos linfáticos aferentes y un único vaso eferente.

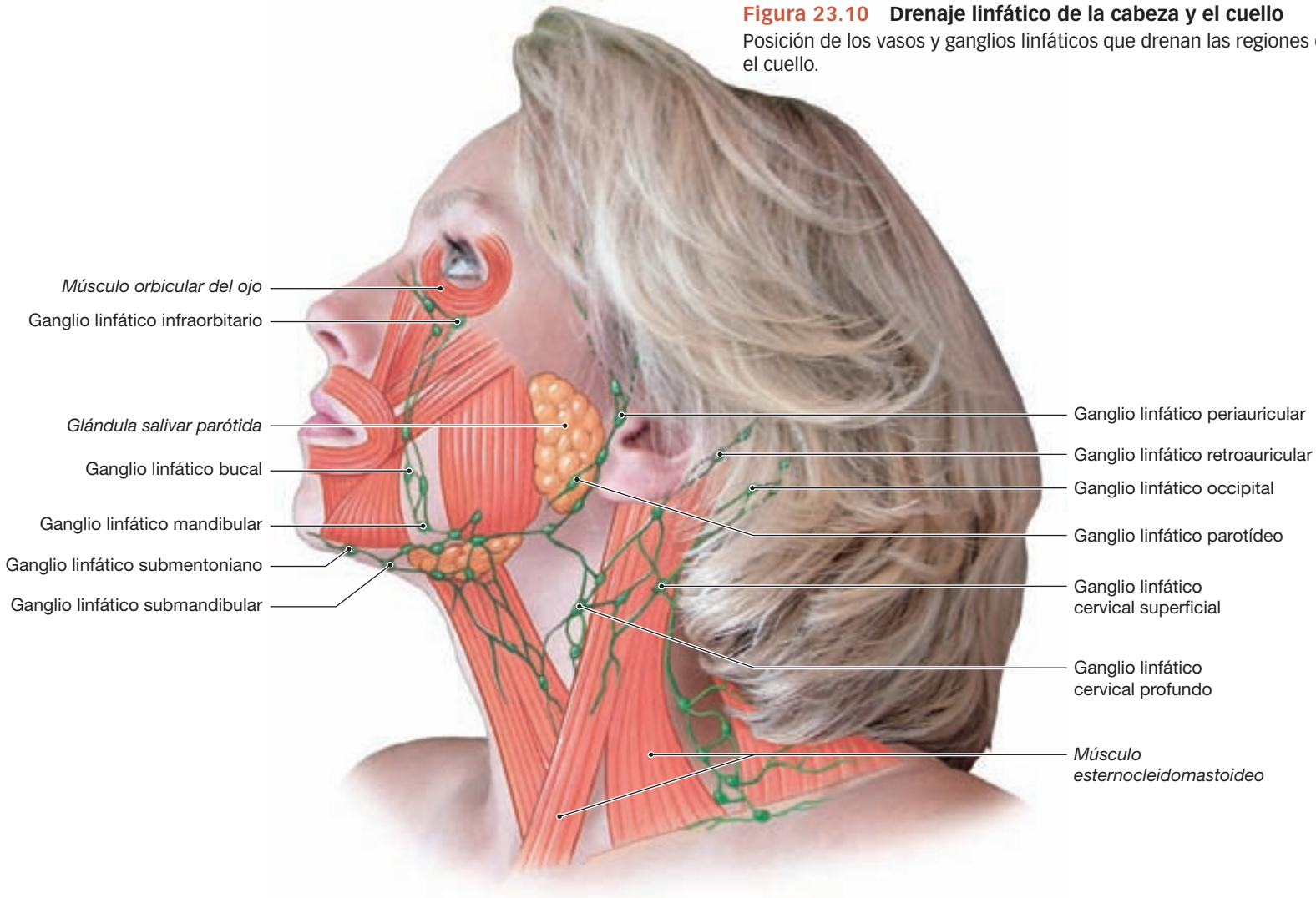


Figura 23.10 Drenaje linfático de la cabeza y el cuello
Posición de los vasos y ganglios linfáticos que drenan las regiones de la cabeza y el cuello.

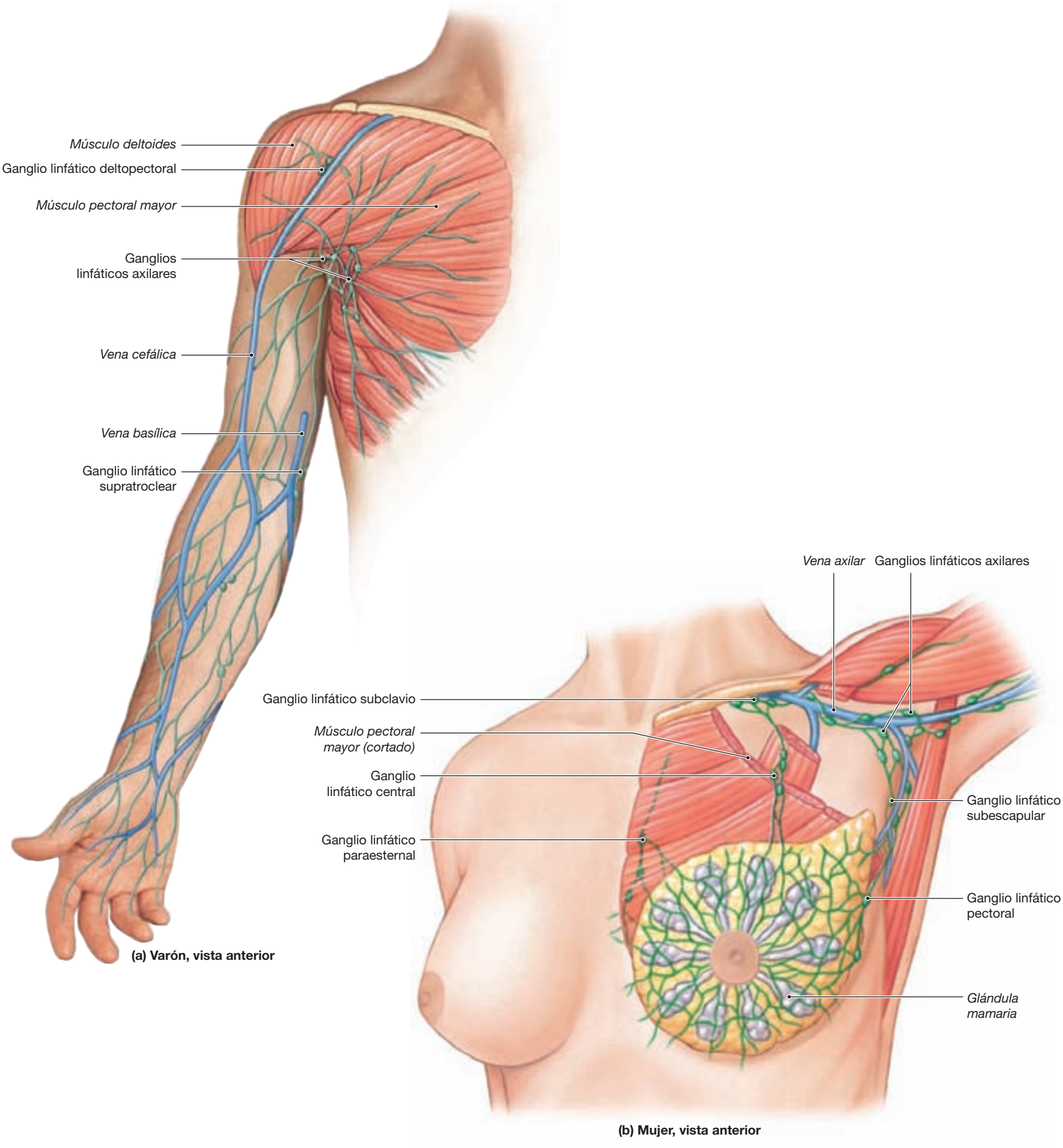


Figura 23.11 **Drenaje linfático de la extremidad superior**

(a) Vasos linfáticos superficiales y ganglios que drenan la extremidad superior y el tórax de un varón. **(b)** Vasos linfáticos superficiales y profundos y ganglios de la extremidad superior y el tórax de una mujer.

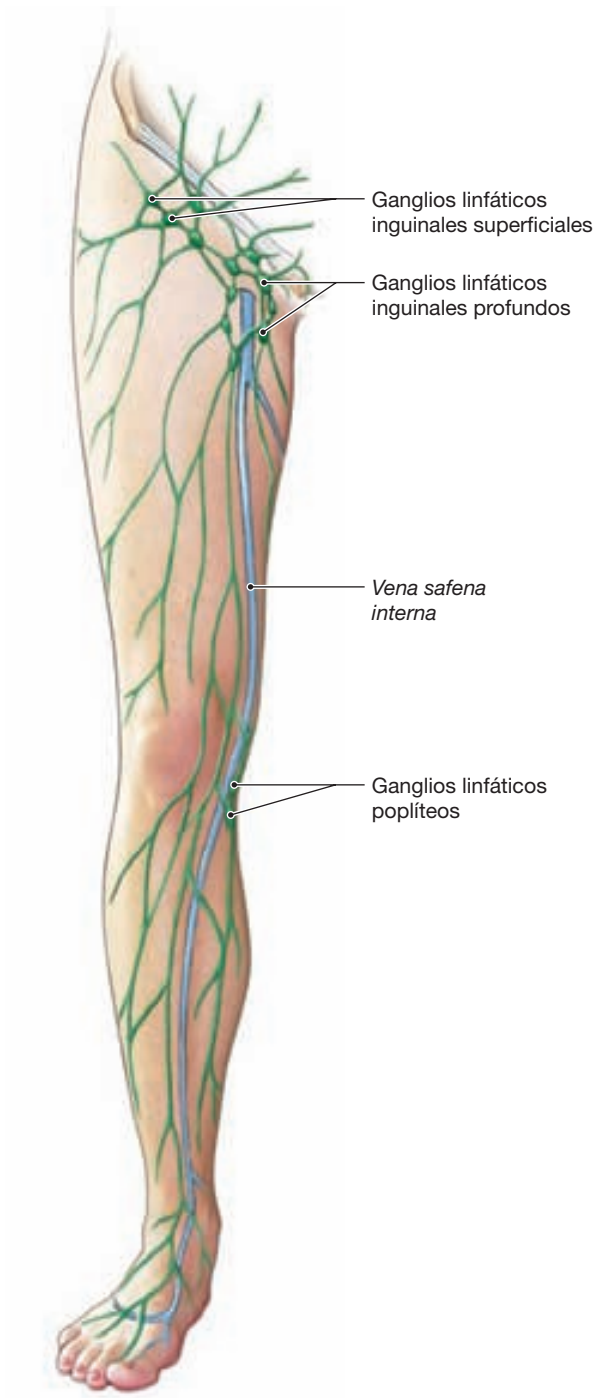


Figura 23.12 **Drenaje linfático de la extremidad inferior**

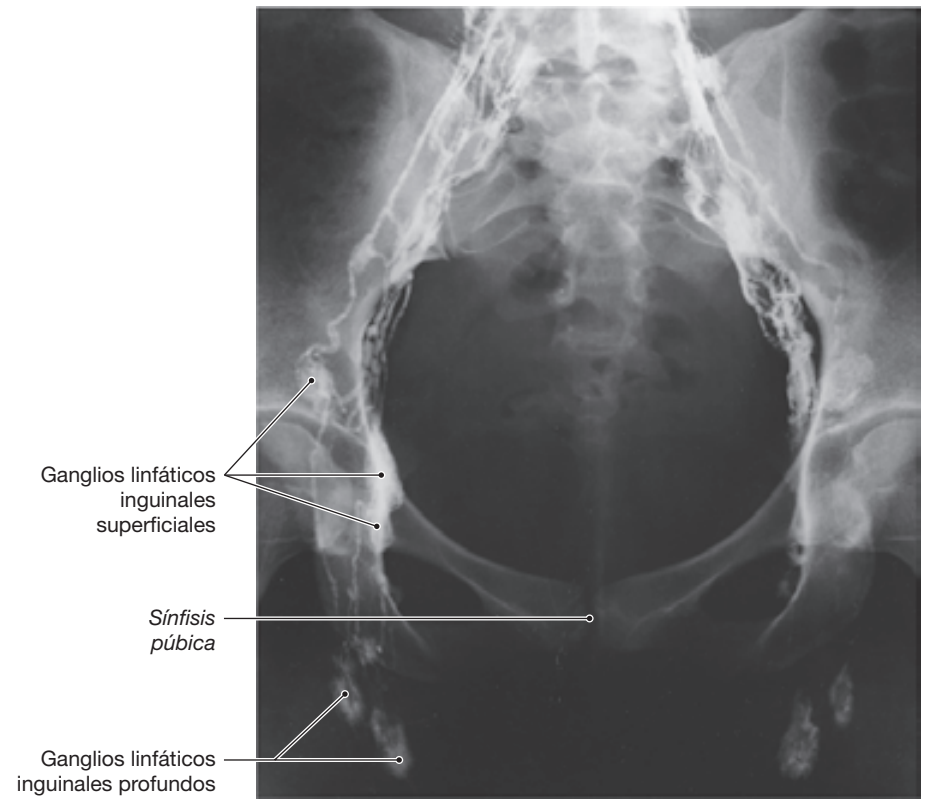


Figura 23.13 **Linfangiografía pélvica**
Es posible visualizar los vasos y ganglios linfáticos mediante una *linfangiografía*, una radiografía que se obtiene tras la introducción de un contraste radioopaco en el sistema linfático.

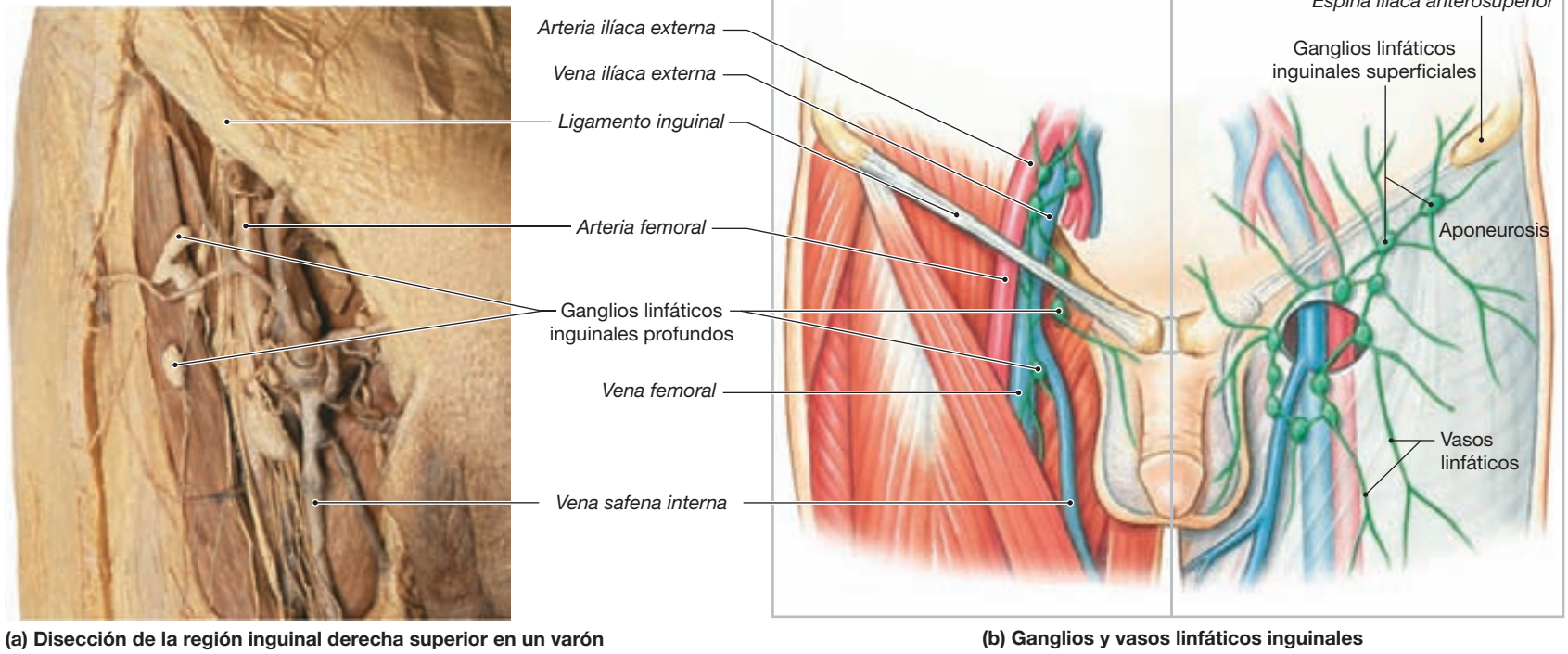
las ingles (**v. figuras 23.12** a **23.14**). Estos ganglios reciben a menudo el nombre de *glándulas linfáticas*. La «hinchazón glandular» suele indicar una inflamación o infección de las estructuras periféricas. Existen también agrupaciones muy densas de ganglios linfáticos en los mesenterios del intestino, cerca de la tráquea y de los conductos que desembocan en los pulmones, y asociadas al conducto torácico.

Distribución de los tejidos linfáticos y los ganglios linfáticos [v. figuras 23.4/23.10 a 23.15]

Los tejidos linfáticos y los ganglios linfáticos se distribuyen por zonas especialmente expuestas a las lesiones o la invasión. Si quisiéramos proteger una casa contra los intrusos, podríamos guardar todas las puertas y ventanas y quizá dejar un perro grande suelto por su interior. La distribución de los tejidos linfáticos y los ganglios linfáticos se basa en una estrategia parecida:

1. Los **ganglios linfáticos cervicales** controlan la linfa que procede de la cabeza y el cuello (**v. figura 23.10**).
2. Los **ganglios linfáticos axilares** filtran la linfa que llega al tronco desde las extremidades superiores (**v. figura 23.11a**). En las mujeres, los ganglios axilares drenan además la linfa procedente de las glándulas mamarias (**v. figura 23.11b**).
3. Los **ganglios linfáticos poplíteos** filtran la linfa que llega al muslo desde la pierna, y los **ganglios inguinales** controlan la linfa que llega al tronco desde las extremidades inferiores (**v. figuras 23.12** a **23.14**).
4. Los **ganglios linfáticos torácicos** reciben linfa de los pulmones, las vías respiratorias y las estructuras mediastínicas (**v. figura 23.4**, p. 612).
5. Los **ganglios linfáticos abdominales** filtran la linfa procedente de las vías urinarias y el aparato reproductor.
6. El tejido linfático de las placas de Peyer y los **ganglios linfáticos intestinales** y **mesentéricos** reciben la linfa procedente del tubo digestivo (**v. figura 23.15**).

Figura 23.14 Drenaje linfático de la región inguinal
(a) Vista anterior de una disección de los ganglios y vasos linfáticos inguinales. **(b)** Vista superficial y más profunda de la región inguinal en un varón; se puede ver la distribución de los ganglios y los vasos linfáticos.



(a) Disección de la región inguinal derecha superior en un varón

(b) Ganglios y vasos linfáticos inguinales

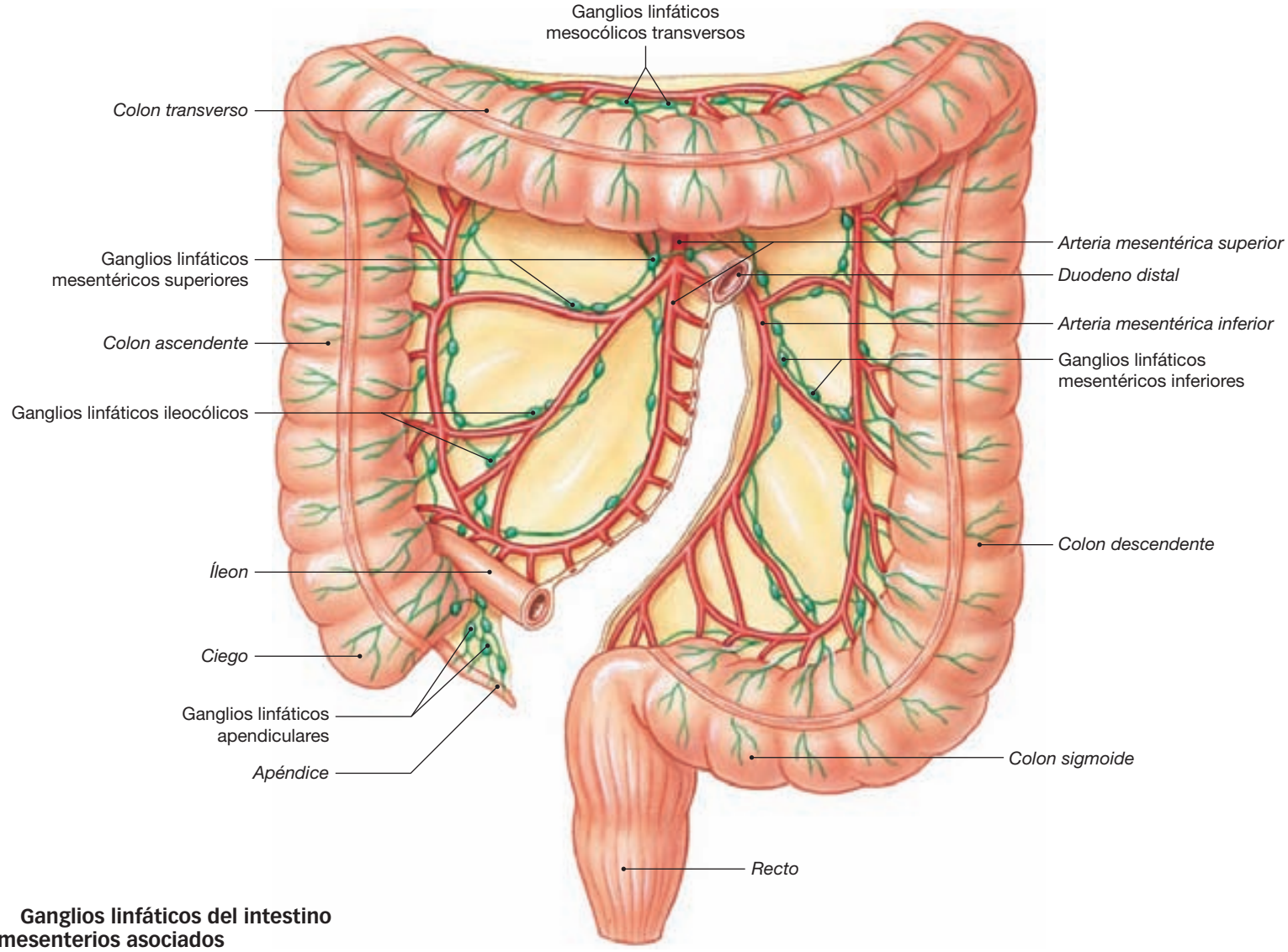


Figura 23.15 Ganglios linfáticos del intestino grueso y los mesenterios asociados

Nota clínica

Linfadenopatía y cáncer metastástico Normalmente, las lesiones menores producen un ligero aumento de tamaño de los ganglios situados a lo largo de los linfáticos que drenan esa región. El aumento de tamaño se debe habitualmente a un incremento del número de linfocitos y fagocitos en el ganglio en respuesta a una pequeña infección localizada. Un aumento crónico o excesivo del tamaño de los ganglios linfáticos constituye una **linfadenopatía.** Este trastorno puede aparecer en respuesta a la cicatrización de los conductos linfáticos dañados; a las infecciones por bacterias, virus o parásitos, o a una neoplasia.

Hay vasos linfáticos en la mayoría de las regiones del organismo, y los capilares linfáticos ofrecen muy poca resistencia al paso de las células cancerosas. Debido a ello, las células cancerosas metastásicas se diseminan frecuentemente por los vasos linfáticos. En estas circunstancias, los ganglios linfáticos actúan como estaciones de paso para las células cancerosas migratorias. Por consiguiente, el análisis de los ganglios linfáticos puede aportar información sobre la diseminación de las células cancerosas, y esa información repercute directamente en la elección del tratamiento más apropiado. Un buen ejemplo es el de la clasificación del cáncer de mama o de los linfomas atendiendo al grado de afectación ganglionar.

Timo [v. figura 23.16]

El **timo** se encuentra por detrás del manubrio esternal, en la parte superior del mediastino. Tiene consistencia nodular y es de color rosado. El timo alcanza su tamaño máximo (en relación con el tamaño del cuerpo) durante el primer o segundo año de vida, y su tamaño máximo absoluto durante la pubertad, momento en el que llega a pesar entre 30 y 40 gramos. Posteriormente, el timo disminuye gradualmente de tamaño y las células funcionales son reemplazadas por fibras de tejido conjuntivo. Este proceso degenerativo se denomina *involución*.

La cápsula que lo recubre divide el timo en dos **lóbulos tímicos** (v. figura 23.16a,b). Desde la cápsula parte una serie de particiones fibrosas, o **tabiques,** que dividen los lóbulos en **lobulillos** de 2 mm de anchura, por término medio (v. figura 23.16b,c). Cada lobulillo consta de una **corteza** externa densa y una **médula** central difusa y más pálida. La corteza contiene células madre linfáticas que se dividen rápidamente, dando lugar a células hija que maduran formando linfocitos T y migran a la médula. Durante el proceso de maduración, se destruyen todas aquellas células T que son sensibles a los antígenos tisulares normales. Las células T supervivientes acceden finalmente a uno de los vasos sanguíneos especializados que existen en esa región. Mientras están dentro del timo, las células T no participan en la respuesta inmunitaria; permanecen inactivas hasta que acceden a la circulación general. Los capilares del timo se parecen a los del SNC, ya que no permiten el

Nota clínica

Linfomas Los **linfomas** son tumores malignos constituidos por linfocitos o células madre linfáticas tumorales. Cada año se diagnostican en EE. UU. unos 61.000 casos de linfoma. Existen muchos tipos de linfoma. Uno de ellos, conocido como *enfermedad de Hodgkin (EH),* representa aproximadamente el 13% de todos los linfomas. La enfermedad de Hodgkin afecta generalmente a personas de 15-35 años o mayores de 50 años. Se ignoran las razones de este patrón de incidencia. Aunque se desconoce la etiología de esta enfermedad, puede que esté relacionada con un agente infeccioso (probablemente un virus).

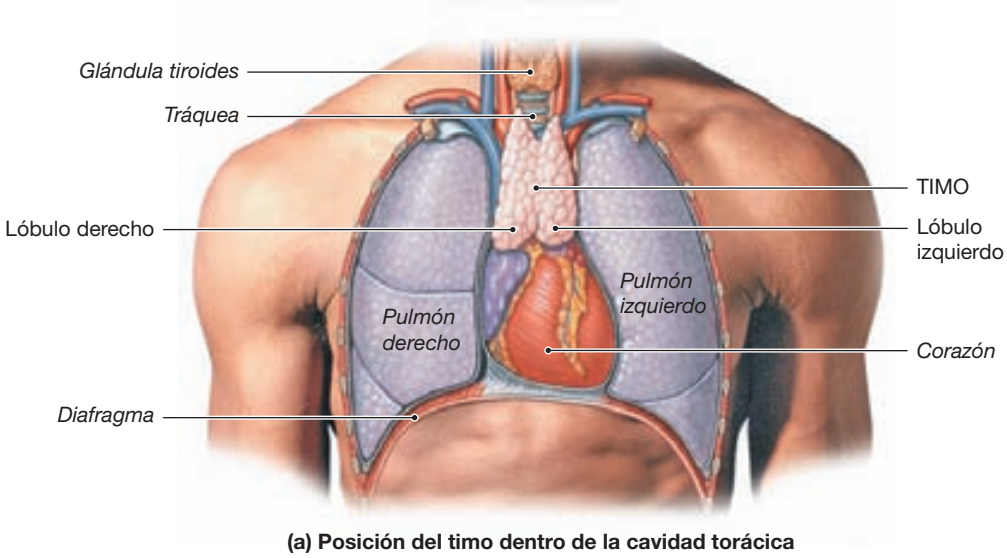
Normalmente, los demás tipos de linfoma se agrupan dentro de la categoría de **linfomas no hodgkinianos (LNH).** Estos linfomas son muy diversos. Más del 85% de los casos de LNH se deben a anomalías cromosómicas de las células tumorales, generalmente traslocaciones, en las que se intercambian segmentos de unos cromosomas a otros. El cambio de genes de un cromosoma a otro interfiere en los mecanismos reguladores normales, y las células crecen sin ningún tipo de control (se vuelven cancerosas). Por ejemplo, la variedad conocida como **linfoma de Burkitt** únicamente se desarrolla cuando se produce una traslocación de genes del cromosoma 8 al cromosoma 14 (existen por lo menos tres variantes). Normalmente, el linfoma de Burkitt afecta a niños varones de África y Nueva Guinea infectados por el *virus de Epstein-Barr (VEB).* Este virus (muy variable) es también el responsable de la mononucleosis infecciosa.

El VEB infecta las células B, aunque en circunstancias normales el sistema inmunitario destruye la mayoría de las células infectadas. Este virus afecta a muchas personas, y la exposición durante la infancia suele producir inmunidad duradera. Los niños que desarrollan el linfoma de Burkitt pueden tener una susceptibilidad genética a la infección por el VEB. Normalmente, el primer síntoma que produce cualquier linfoma es un aumento indoloro del tamaño de los ganglios linfáticos. Los ganglios afectados presentan una consistencia firme y elástica. Dado que los ganglios son indoloros, este trastorno suele pasar desapercibido hasta que progresa y produce síntomas secundarios. Por ejemplo, algunos pacientes que acuden al médico con fiebre recurrente, sudoración nocturna, problemas digestivos o respiratorios, o pérdida de peso, pueden ignorar los cambios ganglionares subyacentes. En las fases avanzadas, la enfermedad puede producir hepatomegalia o esplenomegalia, disfunción del sistema nervioso central, neumonía, diferentes alteraciones cutáneas y anemia.

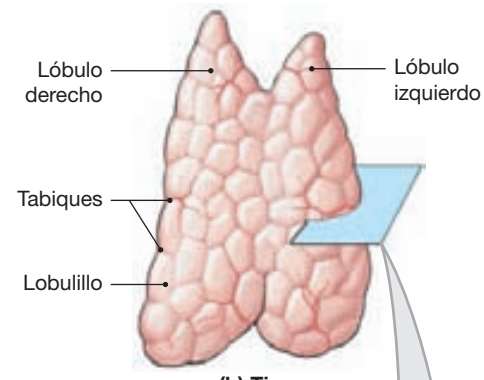
El factor que más influye en la elección del tratamiento es el estadio de la enfermedad. Si se diagnostica precozmente (estadio I o II), los tratamientos localizados pueden dar buenos resultados. Son muy pocos los linfomas que se diagnostican en los estadios iniciales. Por ejemplo, sólo el 10%-15% de los LNH se diagnostican en los estadios I o II. El tratamiento para la mayoría de los linfomas en los estadios III y IV consiste en la quimioterapia. El tratamiento más eficaz es la quimioterapia combinada, en la que se administran simultáneamente dos o más fármacos.

Una opción terapéutica para el linfoma agudo en estadio avanzado es el **trasplante de médula ósea**, o **trasplante de células madre hematológicas.** Si se dispone de células madre medulares de un donante compatible, el paciente se somete a radioterapia de cuerpo entero, a quimioterapia o a una combinación de ambas para matar las células tumorales de todo el cuerpo. Desgraciadamente, este tratamiento destruye también las células madre normales de la médula ósea. A continuación, se infunden las células madre del donante. Al cabo de 2 semanas, las células del donante colonizan la médula ósea y empiezan a producir nuevas células sanguíneas.

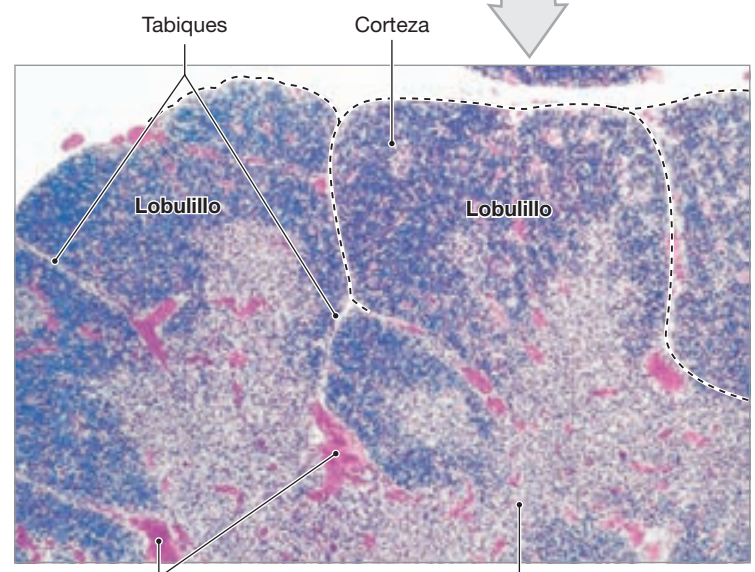
Entre las posibles complicaciones del trasplante de células madre destaca el riesgo de infecciones y hemorragias hasta que prende la médula del donante. Si una persona padece un linfoma en estadio I o II sin afectación medular, se le puede extraer médula ósea y conservarla (congelada) durante más de 10 años. Si fracasan los demás tratamientos o si la persona recae posteriormente, se puede realizar un trasplante de médula autóloga.



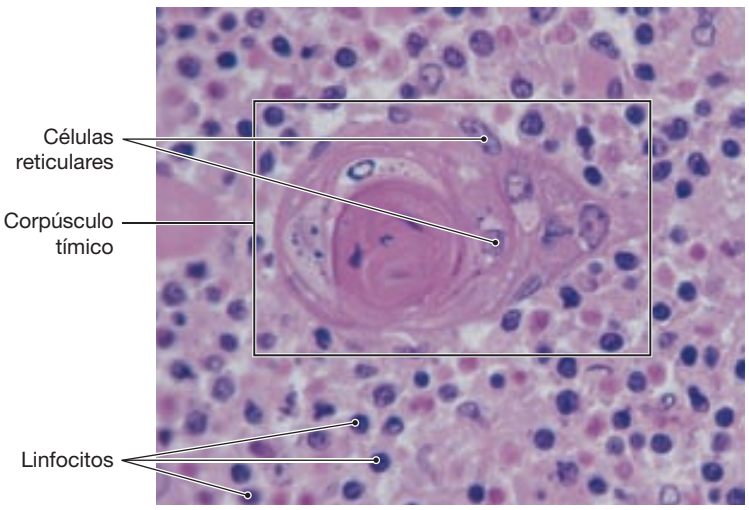
(a) Posición del timo dentro de la cavidad torácica



(b) Timo



(c) Vista general del timo



(d) Corpúsculo tímico

Figura 23.16 Anatomía y organización histológica del timo
(a) Ubicación del timo en disección macroscópica; se puede observar su relación con los demás órganos torácicos. **(b)** Referencias anatómicas del timo. **(c)** Histología del timo. Se pueden ver los tabiques fibrosos que dividen el tejido tímico en una serie de lobulillos que parecen nódulos linfáticos interconectados. La línea discontinua sigue los límites de uno de estos lobulillos. **(d)** Histología de la estructura inusual de los corpúsculos tímicos. Las células pequeñas que se distinguen son linfocitos en diferentes fases de desarrollo.

intercambio libre entre el líquido intersticial y la circulación. Esta **barrera hematotímica** impide que los antígenos circulantes estimulen prematuramente las células T en desarrollo.

Entre los linfocitos del timo hay **células reticulares** dispersas. Estas células se encargan de sintetizar las hormonas tímicas que favorecen la diferenciación de las células T funcionales. En la médula, estas células se agrupan en capas concéntricas y forman estructuras características conocidas como **corpúsculos tímicos** (v. figura 23.16d), cuya función se desconoce.

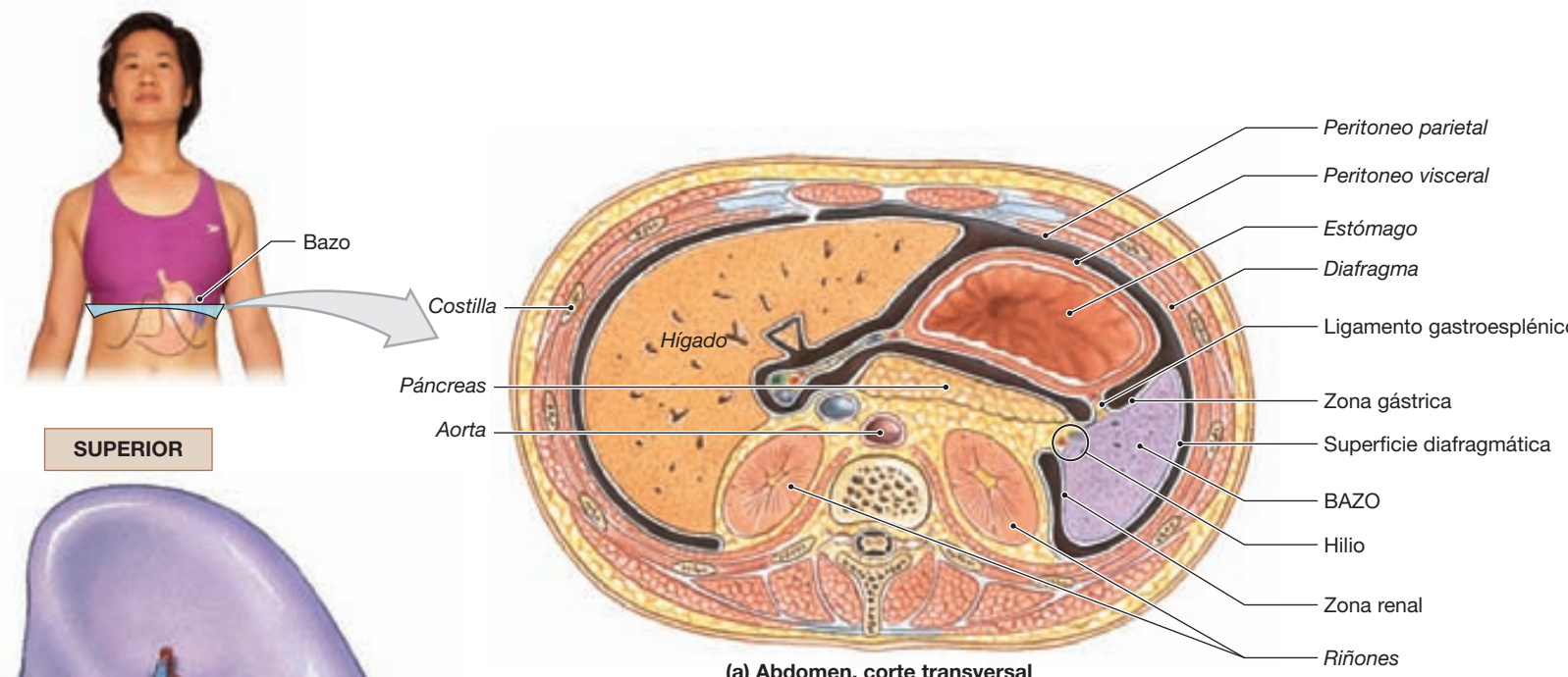
Bazo [v. figura 23.17a]

El **bazo** es el mayor órgano linfático del organismo. Mide unos 12 cm y puede pesar hasta 160 g. El bazo se ubica sobre el borde lateral curvo del estómago, entre la novena y la undécima costillas izquierdas. Está unido al borde lateral del estómago por una banda mesentérica muy ancha, el **ligamento gastroesplénico** (v. figura 23.17a).

En la disección macroscópica, el bazo es de color rojo oscuro debido a la sangre que contiene. El bazo cumple con la sangre unas funciones comparables a las de los ganglios linfáticos con la linfa: 1) supresión de las células sanguíneas y demás componentes hematológicos anormales mediante fagocitosis; 2) almacenamiento del hierro reciclado a partir de los eritrocitos lisados, y 3) inicio de la respuesta inmunitaria de las células B y T en respuesta a los antígenos presentes en la sangre circulante.

Superficies del bazo [v. figura 23.17]

El bazo tiene consistencia blanda y su forma refleja en gran medida su relación con las estructuras que le rodean. Se encuentra imbuido entre el estómago, el riñón izquierdo y el diafragma muscular. La **superficie diafragmática** (v. figura 23.17a) es lisa y convexa, y se adapta a la forma del diafragma y la pared del cuerpo. La **superficie visceral** (v. figura 23.17b) presenta unas depresiones que se adaptan a la morfología del estómago (la **zona gástrica**) y del riñón (la **zona renal**). Los vasos linfáticos y sanguíneos esplénicos penetran en el bazo por la



(a) Abdomen, corte transversal

(b) Superficie visceral del bazo

(c) Aspecto histológico del bazo MO × 38

Figura 23.17 Anatomía y organización histológica del bazo

(a) En líneas generales, la forma del bazo se adapta a la de los órganos vecinos. En este corte transversal del tronco se puede observar la posición típica del bazo dentro de la cavidad abdominopélvica (imagen inferior). **(b)** Aspecto exterior de la superficie visceral del bazo intacto; se pueden distinguir las principales referencias anatómicas. Compárese esta imagen con la de la parte (a). **(c)** Aspecto histológico del bazo. En las zonas de pulpa blanca predominan los linfocitos; son de color azul o morado debido a que los núcleos de los linfocitos se tiñen de color muy oscuro. En las zonas de pulpa roja predominan los eritrocitos.

superficie visceral a través del **hilio,** un surco que señala el límite entre las zonas gástrica y renal. La **arteria esplénica,** la vena **esplénica** y los linfáticos que drenan el bazo están unidos al hilio.

Histología del bazo [v. figura 23.17c]

El bazo está rodeado por una cápsula de colágeno y fibras elásticas. Los componentes celulares del interior forman la **pulpa** esplénica (v. figura 23.17c). Las zonas de **pulpa roja** forman los *cordones esplénicos*, que contienen grandes cantidades de eritrocitos, y las zonas de **pulpa blanca** forman nódulos linfáticos. La arteria esplénica penetra por el hilio y se ramifica en una serie de arterias que se irradian hacia la cápsula. Estas **arterias trabeculares** se ramifican ampliamente y sus arteriolas están rodeadas por zonas de pulpa blanca. Posteriormente, los capilares drenan la sangre en los senos venosos de la pulpa roja.

La población celular de la pulpa roja está constituida por todos los componentes normales de la sangre circulante, más macrófagos fijos y libres. La pulpa roja tiene un armazón estructural formado por una trama de fibras reticulares. La sangre pasa a través de esta retícula y penetra en unos sinusoides muy amplios, revestidos también por macrófagos fijos. Los sinusoides drenan en unas venas pequeñas que finalmente se fusionan formando las **venas trabeculares,** que continúan en dirección al hilio.

Gracias a esta organización circulatoria, los fagocitos del bazo pueden identificar y fagocitar las células dañadas o infectadas que viajan por la sangre circulante. Por toda la pulpa roja hay linfocitos dispersos, y alrededor de cada zona de pulpa blanca hay una gran concentración de macrófagos. De este modo, cualquier microorganismo o componente plasmático anormal llama rápidamente la atención de los linfocitos esplénicos.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del sistema linfático, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué es importante que la linfa encuentre las células T antes que las células B?
2. ¿Qué importancia tiene la ubicación de los ganglios linfáticos?
3. ¿Por qué existe una barrera hematotímica en los capilares del timo?
4. ¿Por qué los ganglios linfáticos suelen aumentar de tamaño durante una infección?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Envejecimiento y sistema linfático

Con la edad, el sistema linfático pierde eficacia en su lucha contra las enfermedades. Las células T responden menos a los antígenos; debido a ello, disminuye el número de células T citotóxicas que responden a una infección. Como también disminuye el número de células T colaboradoras, las células B responden peor y las concentraciones de anticuerpos no aumentan con tanta rapidez tras la exposición a un antígeno. El resultado neto es una mayor susceptibilidad a las infecciones víricas y bacterianas. Por este motivo, se recomienda encarecidamente que las personas mayores se vacunen contra las viriasis agudas como la gripe (influenza). La mayor incidencia de cáncer en las personas mayores se debe al declive de la vigilancia del sistema linfático, que ya no elimina las células tumorales con tanta eficacia.

Caso clínico — SISTEMA LINFÁTICO

SIENTO COMO SI ME AHOGARA. ¿QUÉ ME SUCEDE?

Jan es una mujer de 46 años, casada y con dos hijos, que vive en Colorado. A toda la familia le gusta la vida al aire libre y practica el ciclismo y el senderismo los fines de semana. Últimamente Jan nota a veces que no puede seguir el ritmo de su familia por los caminos de montaña. También nota una sensación creciente de cansancio generalizado y dolores torácicos frecuentes al inspirar profundamente, especialmente durante el esfuerzo. Por la noche, siente como si no pudiera respirar bastante aire y a menudo se sienta para inspirar profundamente varias veces antes de volver a acostarse. Le mencionó este hecho a su médico durante su última revisión anual, pero el médico no percibió ninguna anomalía al auscultar el corazón y los pulmones de Jan ni al comprobar el pulso, la presión arterial y la respiración. Comentaron la posibilidad de pedir una radiografía de tórax, pero como no fumaba ni tenía sibilancias u otros ruidos respiratorios anormales, Jan y su médico decidieron prescindir de la radiografía mientras aquella no desarrollase problemas progresivos.

Varios meses después, Jan sufre una infección respiratoria con rinorrea y tos. Como generalmente se recupera a los pocos días a base de caldo de pollo y mucha cama, Jan interrumpe su actividad cotidiana y espera para ver si mejora. El domingo, por la mañana temprano, Jan se despierta con dolor de tórax y la sensación de que casi se ahoga y se va a desmayar. Los problemas mejoran ligeramente al sentarse. Jan y su marido esperan hasta que la clínica de urgencias abre a las 8 a.m. Ella es la primera paciente que recibe el médico.

Exploración inicial

El médico de urgencia anota lo siguiente:

- La presión arterial y las concentraciones de HDL y LDL están dentro de los límites normales igual que en los cinco últimos años, incluyendo la revisión más reciente de Jan.
- La presión arterial en ese momento es de 112/76.
- El ECG (electrocardiograma) no muestra signos de isquemia o infarto de miocardio.
- La paciente no tiene antecedentes familiares de problemas cardíacos o cerebrovasculares.
- La paciente se queja de cansancio generalizado, que ha aumentado de duración e intensidad en los cinco últimos meses.
- La paciente experimenta un dolor torácico generalizado y tiene la sensación de que casi se ahoga y pierde el conocimiento.

El médico solicita una radiografía anteroposterior de tórax. En la radiografía se observa un mediastino ensanchado y una opacidad en la zona mediastínica anterior (**v. figura 23.18**). Jan es trasladada inmediatamente al hospital local para una exploración más completa.

Figura 23.18 **Radiografía de Jan**

Casoc línico *(cont.)*

Exploración de seguimiento

El médico del hospital revisa los datos clínicos de la Clínica de Urgencias y solicita una RM, que revela lo siguiente:

- Existe una masa de gran tamaño en el mediastino anterior.
- Parece que esa masa está comprimiendo el corazón y la bifurcación traqueal de Jan.

Jan se somete a una intervención quirúrgica, durante la cual se le extirpa una masa del mediastino anterior.

Puntos de interés

Cuando examine la información aportada en el caso descrito, repase los contenidos tratados en el capítulo 23 sobre el sistema linfático. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela.

1. ¿Dónde se encuentra el mediastino?
2. ¿Qué estructuras anatómicas se localizan en el interior del mediastino?
3. Los síntomas de Jan han empeorado durante el último año. ¿A qué se deben estos cambios en sus síntomas?

Análisis e interpretación

La información que presentamos a continuación responde a las preguntas que planteamos en la sección de «Puntos de interés». Para repasar el material, consulte las páginas del capítulo indicadas por los iconos de enlace.

1. El mediastino se extiende desde la abertura superior del tórax hasta el diafragma y desde el esternón, por delante, hasta las vértebras torácicas, por detrás [pp. 18-19].
2. El mediastino contiene la tráquea, el esófago, el saco pericárdico, el corazón y sus principales vasos, el timo y los ganglios linfáticos torácicos. Por el mediastino pasan además estructuras como el esófago, el conducto torácico y diversos componentes del sistema nervioso que van desde la cavidad torácica hasta la cavidad abdominal [pp. 18-20].
3. Cuando una masa mediastínica aumenta de tamaño, comprime las diferentes estructuras que se encuentran dentro del mediastino. La falta de aliento y la sensación de ahogo de Jan se deben al aumento de la presión sobre la tráquea, los bronquios y los pulmones, mientras que su sensación de desvanecimiento se debe a la compresión sobre el corazón y los grandes vasos.

Diagnóstico

A Jan se le ha diagnosticado un linfoma torácico (mediastínico). Una proliferación tumoral sólida de linfocitos puede dar lugar a una linfadenopatía benigna (no cancerosa) o a un linfoma maligno, un tumor canceroso que afecta a uno o más ganglios linfáticos del organismo. Los linfomas malignos se clasifican como **enfermedad de Hodgkin (EH)** o **linfomas no hodgkinianos (LNH).** La cavidad torácica se ve afectada en el 85% de los casos de EH y en el 45% de los casos de LNH.

La denominación de linfoma no hodgkinianos se emplea para referirse a una serie de neoplasias. Los linfomas no hodgkinianos suelen clasificarse atendiendo al tipo de célula que interviene en la formación del tumor maligno, es decir, como linfomas de células B o de células T. En 2007, los LNH representaron aproximadamente el 4% de todas las nuevas neoplasias diagnosticadas en EE. UU. Los LNH son más frecuentes en pacientes que reciben inmunosupresores y en personas infectadas por VIH. Por razones que desconocemos, en los 20 últimos años se ha podido observar un aumento de la incidencia de LNH entre las mujeres. Los avances en la quimioterapia y la radioterapia han permitido prolongar la supervivencia de todos los pacientes con LNH; actualmente, el índice de supervivencia relativa a los 5 años es del 63%. ■

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

ECG (electrocardiograma): Registro gráfico de los potenciales de acción del corazón, obtenido mediante la colocación de electrodos de registro sobre la piel del paciente.
HDL (lipoproteínas de alta densidad): Tipo de lipoproteínas presentes en la sangre, cuya principal función consiste en transportar colesterol al hígado para su excreción biliar.
LDL (lipoproteínas de baja densidad): Tipo de lipoproteínas presentes en la sangre, cuya principal función consiste en transportar colesterol a todos los tejidos menos el hígado.
leucemia: Forma de cáncer que se caracteriza por la proliferación progresiva de leucocitos anormales en la médula ósea y otros tejidos hematopoyéticos, y que da lugar a la aparición de un gran número de leucocitos anormales en la sangre y otros tejidos.
linfadenopatía: Cualquier trastorno que afecta a uno o más ganglios linfáticos.
linfoma de células B (leucemia de células B): Tumor linfático canceroso resultante del crecimiento y la multiplicación anormales de los linfocitos B.
linfoma de células T (leucemia de células T): Tumor linfático canceroso resultante del crecimiento y la multiplicación anormales de los linfocitos T.

TÉRMINOS CLÍNICOS

alergia: Una respuesta inmunitaria a los antígenos inapropiada o excesiva.

amigdalectomía: Extirpación de una amígdala infectada para eliminar los síntomas de la amigdalitis.

apendicitis: Inflamación del apéndice, cuyo tratamiento consiste en la mayoría de los casos en la *apendicectomía*.

esplenectomía: Resección quirúrgica del bazo, normalmente tras la rotura del mismo.

esplenomegalia: Aumento de tamaño del bazo; suele deberse a infecciones, inflamaciones o neoplasias.

inmunodeficiencia: Un trastorno en el que el sistema inmunitario no se desarrolla normalmente o en el que la respuesta inmunitaria queda bloqueada de algún modo.

inmunodeficiencia combinada grave (IDCG): Anomalía congénita en la que una persona no llega a desarrollar inmunidad celular o humoral debido a la carencia de células B y T normales.

linfadenopatía: Aumento de tamaño crónico o exagerado de los ganglios linfáticos.

linfomas: Neoplasias malignas constituidas por linfocitos o células madre linfocíticas anormales; comprenden la enfermedad de Hodgkin y los linfomas no hodgkinianos.

lupus eritematoso sistémico: Trastorno causado por un deterioro generalizado del mecanismo de reconocimiento de antígenos.

síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA): Trastorno que se desarrolla tras la infección por el VIH, y que se caracteriza por una reducción de las poblaciones de células T y una depresión de la inmunidad celular.

trastorno autoinmune: Un trastorno que se produce cuando la respuesta inmunitaria se dirige por error contra las células y los tejidos normales del organismo.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 609

1. Las células, los tejidos y los órganos del *sistema linfático* desempeñan un papel fundamental en la defensa del organismo contra virus, bacterias y otros microorganismos.

Revisión del sistema linfático 609

1. El **sistema linfático** comprende una red de vasos linfáticos que transportan la **linfa** (un líquido parecido al plasma pero con una concentración menor de proteínas). Los vasos linfáticos conectan entre sí una serie de órganos y tejidos linfáticos *(v. figuras 23.1/23.2)*.

Funciones del sistema linfático 609

2. El sistema linfático produce, mantiene y distribuye linfocitos (células que atacan los microorganismos invasores, las células anormales y las proteínas extrañas). Este sistema ayuda también a mantener la volemia y a eliminar las fluctuaciones locales en la composición del líquido intersticial. Las estructuras linfáticas pueden clasificarse como *primarias* (que contienen células madre) o *secundarias* (que contienen linfocitos inmaduros o activados).

Estructura de los vasos linfáticos 610

Capilares linfáticos 610

1. Los **vasos linfáticos,** o *linfáticos*, transportan la linfa de los tejidos periféricos al sistema venoso. La linfa fluye por una red de linfáticos que se originan en los **capilares linfáticos** *(linfáticos terminales)*. Las células endoteliales de los capilares linfáticos se solapan y actúan como válvulas unidireccionales que impiden el flujo retrógrado hacia los espacios intercelulares *(v. figura 23.2b)*.

Válvulas de los vasos linfáticos 611

2. Los linfáticos contienen numerosas válvulas internas que impiden el reflujo de la linfa.

Principales vasos colectores linfáticos 612

3. Hay dos grupos de vasos linfáticos que recogen la sangre de los capilares linfáticos: los **linfáticos superficiales** y los **linfáticos profundos.** Los vasos linfáticos drenan en el conducto torácico y en el conducto linfático derecho *(v. figuras 23.2 a 23.5)*.

Linfocitos 613

Tipos de linfocitos 613

1. Existen tres tipos diferentes de linfocitos: **células T** (dependientes del timo), **células B** (formadas a partir de la médula ósea) y **células NK** (asesinas naturales) *(v. figuras 23.6/23.7)*.
2. Las **células T citotóxicas** atacan las células extrañas o las células del organismo infectadas por virus; se encargan de la **inmunidad celular.** Las *células T reguladoras* (**colaboradoras** y **supresoras**) regulan y coordinan la respuesta inmunitaria, mientras que las **células T de memoria** permanecen «en la reserva» *(v. figura 23.6)*.
3. Las células B pueden diferenciarse en **células plasmáticas,** que producen y secretan *anticuerpos* que reaccionan con determinados objetivos químicos, o **antígenos.** Los anticuerpos de los líquidos corporales reciben el nombre de **inmunoglobulinas.** Las células B se encargan de la **inmunidad humoral** (mediada por anticuerpos). Las **células B de memoria** se activan si el antígeno reaparece nuevamente en un momento posterior *(v. figura 23.6)*.
4. Las células NK (también denominadas *linfocitos granulares grandes*) atacan las células extrañas, las células normales infectadas por virus y las células cancerosas. Se encargan de la **vigilancia inmunológica.**

Linfocitos y respuesta inmunitaria 614

5. El objetivo de la **respuesta inmunitaria** consiste en la destrucción o inactivación de los microorganismos patógenos, las células anormales y las moléculas extrañas (como las toxinas). Los macrófagos fagocitan los antígenos y posteriormente los presentan a las células T para que estas puedan empezar a diferenciarse. Gracias a los millones de linfocitos diferentes, que conservan su capacidad para dividirse, el organismo está preparado para hacer frente a cualquier antígeno. Se denomina *inmunocompetencia* a la capacidad para reconocer los antígenos *(v. figura 23.6)*.

Distribución y vida media de los linfocitos 615

Linfopoyesis: producción de linfocitos 615

6. Los linfocitos entran y salen continuamente de la sangre a través de los tejidos y órganos linfáticos y, en general, tienen una vida media relativamente prolongada. La **linfopoyesis** (producción de linfocitos) corre a cargo de la médula ósea, el timo y los tejidos linfáticos periféricos *(v. figura 23.7)*.

Tejidos linfáticos 616

1. Los **tejidos linfáticos** son tejidos conjuntivos dominados por los linfocitos. En un **nódulo linfático,** los linfocitos se condensan en una zona de tejido conjuntivo laxo. Entre los nódulos linfáticos más importantes cabe destacar los **nódulos linfáticos agregados** situados bajo la mucosa intestinal, el *apéndice* y las **amígdalas** de las paredes faríngeas *(v. figura 23.8)*.

Órganos linfáticos 617

1. Los principales **órganos linfáticos** son *los ganglios linfáticos, el timo y el bazo (v. figuras 23.1/23.9 a 23.15)*.

Ganglios linfáticos 617

2. Los **ganglios linfáticos** son masas encapsuladas de tejido linfático. En la **corteza profunda** predominan las células T; la **corteza externa** y la **médula** contienen células B organizadas en **cordones medulares.** Las **glándulas linfáticas** son los ganglios linfáticos de mayor tamaño, y se encuentran en las zonas en las que los linfáticos periféricos desembocan en el tronco *(v. figuras 23.1/23.9 a 23.15)*.
3. Los tejidos y ganglios linfáticos se localizan en las zonas más sensibles a las lesiones o a la invasión de microorganismos.
4. Los **ganglios linfáticos cervicales, axilares, poplíteos, inguinales, torácicos, abdominales, intestinales y mesentéricos** protegen las zonas vulnerables del organismo *(v. figuras 23.4/23.5/23.10 a 23.15)*.

Timo 622

5. El **timo** se encuentra por detrás del manubrio esternal, en el mediastino superior. **Células epiteliales** dispersas entre los linfocitos sintetizan hormonas tímicas. Estas hormonas favorecen la diferenciación de las células T. La **barrera hematotímica** impide el intercambio libre entre el líquido intersticial y la circulación, evitando de ese modo una activación prematura de las células T. Tras la pubertad, el timo disminuye gradualmente de tamaño, en un proceso denominado *involución (v. figura 23.16)*.

Bazo 623

6. El **bazo** adulto contiene la mayor masa de tejido linfático del organismo. El bazo cumple las mismas funciones con la sangre que los ganglios linfáticos con la linfa. La **superficie diafragmática** del bazo coincide con el diafragma; la **superficie visceral** linda con el estómago y el riñón y contiene un surco denominado **hilio.** Los componentes celulares forman la **pulpa** esplénica. La **pulpa roja** contiene grandes cantidades de eritrocitos, y las zonas de **pulpa blanca** se parecen a los nódulos linfáticos. En la pulpa roja hay linfocitos dispersos, y la región que rodea la pulpa blanca posee una gran concentración de macrófagos *(v. figura 23.17)*.

Envejecimiento y sistema linfático 625

1. Con la edad, el sistema inmunitario combate las enfermedades con menos eficacia.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. células plasmáticas	a. linfáticos terminales
___ 2. bazo	b. responsable de la inmunidad celular
___ 3. timo	c. producen anticuerpos
___ 4. células T citotóxicas	d. ayuda a la vigilancia inmunológica
___ 5. anticuerpos	e. contiene células T en desarrollo
___ 6. células NK	f. inmunoglobulinas
___ 7. capilares linfáticos	g. responsable de la inmunidad humoral
___ 8. cisterna del quilo	h. producción de linfocitos
___ 9. linfopoyesis	i. cámara sacular del conducto torácico
___ 10. células B	j. mayor órgano linfático del cuerpo

11. El sistema linfático está formado por:
(a) los vasos linfáticos (b) el bazo
(c) los ganglios linfáticos (d) todo lo anterior

12. En comparación con los capilares sanguíneos, los capilares linfáticos:
(a) poseen lámina basal
(b) tienen menos diámetro
(c) tienen paredes de endotelio liso
(d) suelen tener una forma irregular

13. La mayor parte de la linfa vuelve a la circulación venosa a través de:
(a) el conducto linfático derecho (b) la cisterna del quilo
(c) la vena porta hepática (d) el conducto torácico

14. Algunas células conocidas como linfocitos:
(a) tienen actividad fagocítica
(b) destruyen eritrocitos
(c) sintetizan proteínas denominadas anticuerpos
(d) se encuentran fundamentalmente en la médula ósea roja

15. _____ son nódulos linfáticos de gran tamaño que se encuentran en las paredes de la faringe.
(a) Las amígdalas (b) Los ganglios linfáticos
(c) La glándula tímica (d) Los corpúsculos tímicos

16. Las zonas del bazo que contienen grandes cantidades de linfocitos reciben el nombre de:
(a) pulpa blanca (b) pulpa roja
(c) adenoides (d) ganglios linfáticos

17. La pulpa roja del bazo contiene grandes cantidades de:
(a) macrófagos (b) anticuerpos
(c) neutrófilos (d) linfocitos

18. Las células encargadas de sintetizar los anticuerpos circulantes son:
(a) las células NK (b) las células plasmáticas
(c) las células T colaboradoras (d) las células T citotóxicas

19. Los cordones medulares de un ganglio linfático contienen:
(a) células T citotóxicas (b) células T supresoras
(c) células NK (d) células B

20. Los linfocitos que atacan las células extrañas o las células del cuerpo infectadas por virus son:
(a) células B (b) células T colaboradoras
(c) células T citotóxicas (d) células T supresoras

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. Si el timo no produjera la hormona timosina, cabría esperar que observábamos una disminución del número de:
(a) linfocitos B (b) células NK
(c) células T citotóxicas (d) neutrófilos

2. El virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) causante de la enfermedad conocida como SIDA infecta selectivamente:
(a) las células T colaboradoras (b) las células plasmáticas
(c) las células T citotóxicas (d) las células T supresoras

3. El bloqueo de los receptores antigénicos de la superficie de los linfocitos interferiría en:
(a) la fagocitosis del antígeno
(b) la capacidad de ese linfocito para producir anticuerpos
(c) el reconocimiento del antígeno
(d) la capacidad del linfocito para presentar el antígeno

4. ¿Cuál es la función de la barrera hematotímica?

5. ¿Qué arteria y vena importantes pasan por el hilio del bazo?

6. ¿De qué regiones del cuerpo recoge linfa el conducto torácico?

7. ¿Qué tipo de linfocito es el más frecuente?

8. ¿Qué es el linfedema?

9. ¿Qué ocurre en las estructuras linfáticas secundarias?

10. ¿Dónde se encuentran los nódulos linfáticos agregados, también conocidos como placas de Peyer?

Nivel 3 Pensamiento crítico

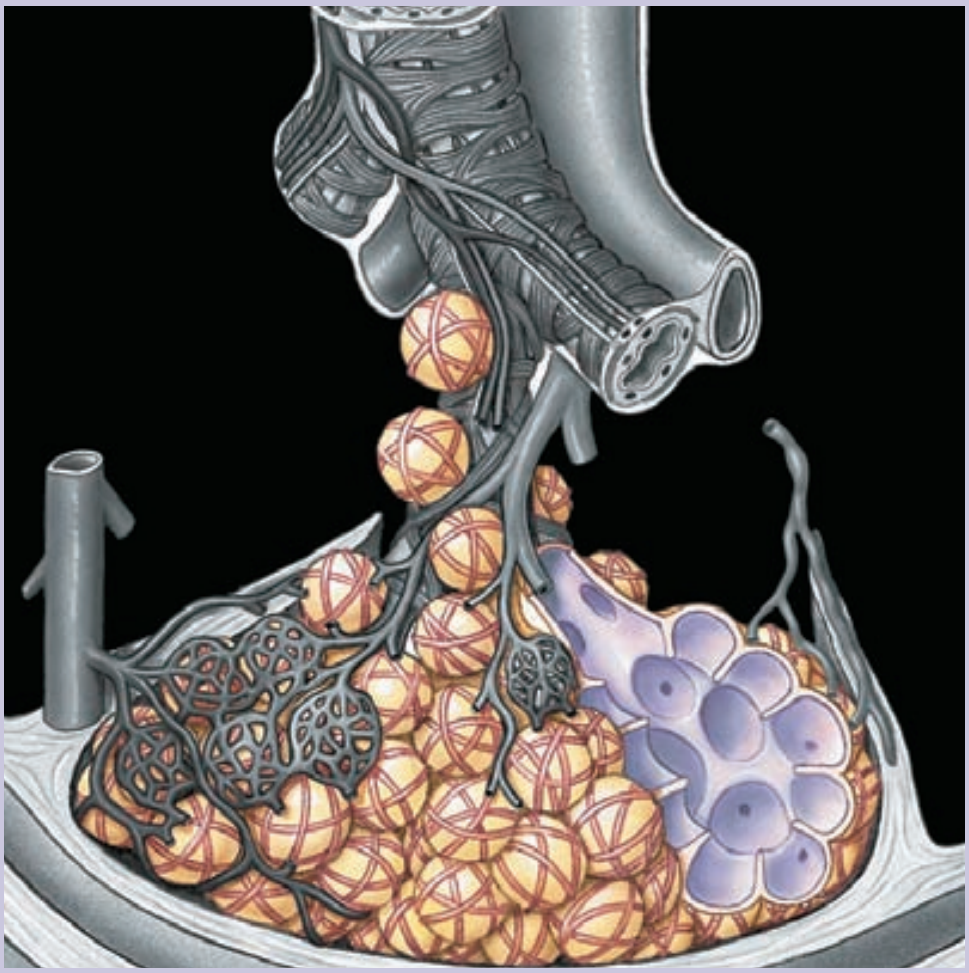
1. Tom ha estado expuesto recientemente al virus del sarampión, y como no puede recordar si ha padecido ya esta enfermedad, se pregunta si va a verse afectado. Le pregunta a usted si le puede decir si ha estado expuesto previamente o si va a enfermar antes de que ocurra realmente. ¿Qué le diría usted?

2. Willy es alérgico al polen de ambrosía y le cuenta a ustedes que ha leído algo sobre un medicamento que le puede ayudar a superar su trastorno mediante la supresión de su respuesta inmunitaria. ¿Cree usted que este tratamiento puede ayudar a Willy? Explique su respuesta.

3. Al abuelo de Paula le han diagnosticado cáncer de pulmón. Su médico solicita biopsias de varios ganglios linfáticos de regiones vecinas del cuerpo y Paula se pregunta por qué, si el cáncer afecta a sus pulmones. ¿Qué le diría usted?

24

Aparato respiratorio



Introducción 630

Revisión del aparato respiratorio 630

Vías respiratorias superiores 632

Vías respiratorias inferiores 634

Tráquea 637

Bronquios principales 637

Pulmones 638

Cavidades y membranas pleurales 646

Músculos respiratorios y ventilación pulmonar 647

Envejecimiento y aparato respiratorio 650

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las principales funciones del aparato respiratorio.
2. Describir la organización estructural del aparato respiratorio y sus principales órganos.
3. Distinguir entre los componentes conductor y respiratorio de las vías respiratorias.
4. Describir la histología y las funciones del epitelio respiratorio.
5. Describir la anatomía funcional de los componentes de las vías respiratorias superiores.
6. Describir la anatomía funcional de la laringe y explicar el papel que desempeña en la respiración y la producción de sonidos.
7. Comentar las especializaciones anatómicas macroscópicas e histológicas de la tráquea.
8. Describir las especializaciones histológicas de los componentes conductor y respiratorio de las vías respiratorias inferiores.
9. Describir la anatomía funcional del árbol bronquial y los segmentos broncopulmonares.
10. Describir la estructura y las funciones de la membrana respiratoria.
11. Describir las cavidades y las membranas pleurales.
12. Identificar los músculos de la respiración y explicar los movimientos responsables de la ventilación pulmonar.
13. Distinguir entre los músculos que intervienen en la respiración tranquila y en la respiración forzada.
14. Explicar cómo la actividad muscular hace entrar y salir el aire de los alvéolos.
15. Describir los cambios que experimenta el aparato respiratorio al nacer.
16. Identificar los centros de control respiratorio y explicar sus interacciones y las funciones que desempeñan los quimiorreceptores y los receptores de distensión en el control de la respiración.
17. Identificar los reflejos que regulan la respiración.
18. Describir los cambios que experimenta el aparato respiratorio con la edad.

Las células obtienen energía fundamentalmente a través del metabolismo aerobio, un proceso que consume oxígeno y genera anhídrido carbónico. Para sobrevivir, las células necesitan algún medio para obtener ese oxígeno y eliminar el anhídrido carbónico. El aparato cardiovascular conecta los líquidos intersticiales que rodean las células periféricas y las superficies pulmonares para el intercambio de gases. El aparato respiratorio facilita el intercambio de gases entre el aire y la sangre. Al circular, la sangre transporta oxígeno de los pulmones a los tejidos periféricos, y acepta además el anhídrido carbónico producido por estos tejidos y lo transporta a los pulmones para su eliminación.

Empezaremos nuestro estudio del aparato respiratorio describiendo las estructuras anatómicas que conducen el aire del medio exterior a las superficies pulmonares de intercambio gaseoso. Posteriormente, comentaremos la mecánica respiratoria y el control neural de la respiración.

Revisión del aparato respiratorio

[v. figura 24.1]

El **aparato respiratorio** comprende la nariz, la cavidad y los senos nasales, la faringe, la laringe (caja de la voz), la tráquea y los conductos de menor calibre que conducen a las superficies pulmonares de intercambio gaseoso. Todas estas estructuras se ilustran en la figura 24.1. Las **vías respiratorias** están formadas por los conductos que trasportan el aire de entrada y salida de esas superficies. Las vías respiratorias pueden dividirse en una *parte conductora* y una *parte respiratoria*. La parte conductora va desde la entrada de la cavidad nasal hasta los *bronquíolos* pulmonares de menor calibre. La parte respiratoria comprende los *bronquíolos respiratorios* y los **alvéolos** (unos sacos aéreos muy delicados), en los que se produce el intercambio de gases.

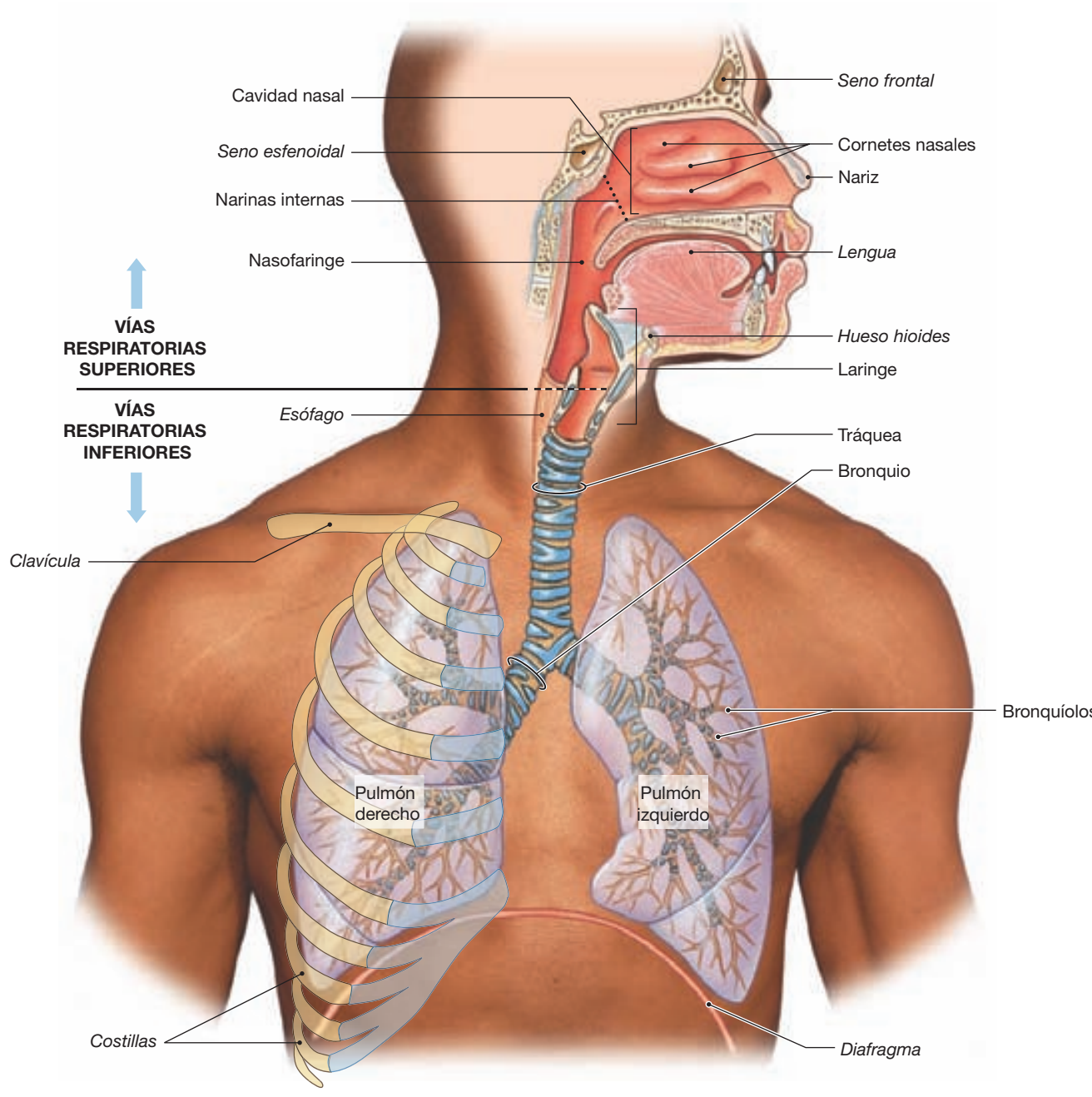


Figura 24.1 **Estructuras del aparato respiratorio**

El aparato respiratorio comprende las vías respiratorias y los tejidos, órganos y estructuras de sostén asociados. Las **vías respiratorias superiores** están constituidas por la nariz, la cavidad nasal, los senos paranasales y la faringe. Estas vías filtran, calientan y humidifican el aire, protegiendo las superficies de conducción e intercambio de las **vías respiratorias inferiores** (más delicadas) contra los restos, los microorganismos patógenos y las condiciones ambientales extremas. Las vías respiratorias inferiores comprenden la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones.

El filtrado, el calentamiento y la humidificación del aire inspirado comienzan en la entrada de las vías respiratorias superiores y continúan en el resto del sistema conductor. Cuando el aire llega a los alvéolos pulmonares se ha suprimido del mismo la mayor parte de las partículas extrañas y los microorganismos patógenos y la humedad y la temperatura están dentro de unos límites aceptables. El éxito de este «proceso de acondicionamiento» se debe fundamentalmente a las propiedades del *epitelio respiratorio,* que explicamos en un apartado posterior.

Funciones del aparato respiratorio

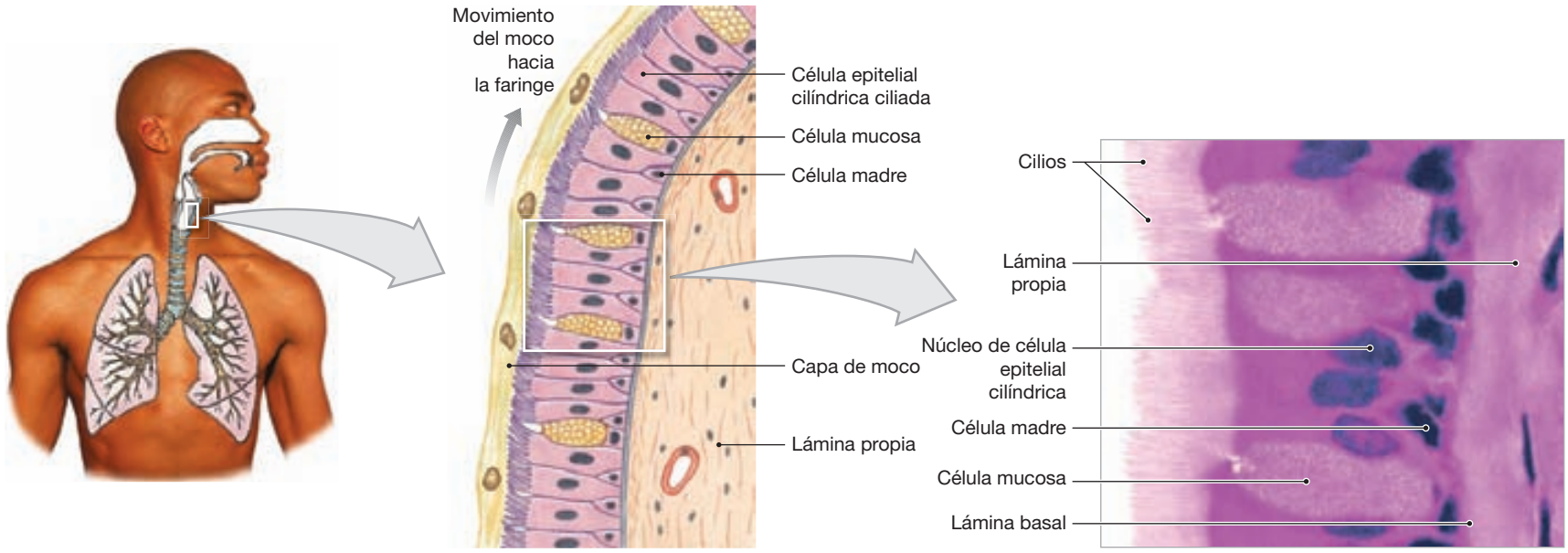
El aparato respiratorio cumple las siguientes funciones:

1. Proporciona una superficie muy extensa para el intercambio de gases entre el aire y la sangre circulante.
2. Lleva aire hasta las superficies de intercambio pulmonares y lo expulsa después.
3. Protege las superficies respiratorias contra la deshidratación, los cambios de temperatura y otras variaciones ambientales.
4. Defiende el aparato respiratorio y otros tejidos frente a la invasión de microorganismos patógenos.
5. Produce los sonidos del habla, el canto y la comunicación no verbal.
6. Ayuda a regular la volemia y la presión arterial y a controlar el pH de los líquidos del organismo.

El aparato respiratorio lleva a cabo estas funciones con la ayuda del aparato cardiovascular, el sistema linfático, determinados músculos estriados y el sistema nervioso.

Epitelio respiratorio [v. figura 24.2]

El **epitelio respiratorio** está formado por un epitelio cilíndrico, seudoestratificado, ciliado, con numerosas células mucosas (**v. figura 24.2**). El epitelio respi-



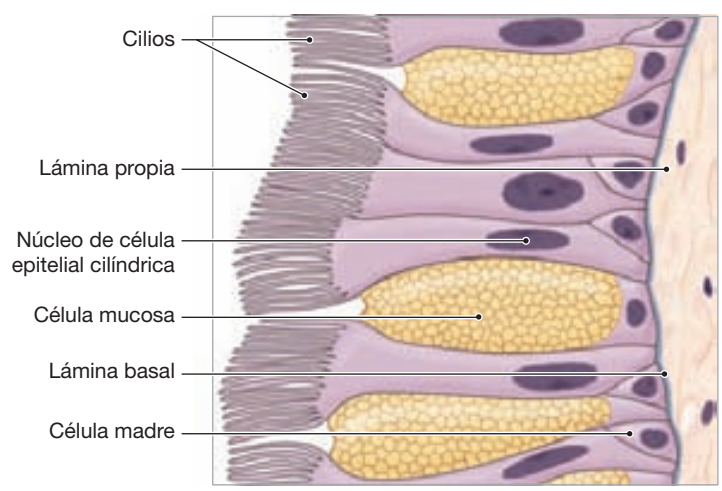


Figura 24.2 Histología del epitelio respiratorio
(a) Representaciones esquemática e histológica del epitelio respiratorio. **(b)** Aspecto histológico del epitelio respiratorio. **(c)** Vista superficial del epitelio a través del microscopio electrónico de barrido (MEB). En esta imagen coloreada, los cilios de las células epiteliales forman una capa muy densa que recuerda una alfombra de mucho pelo. El movimiento de estos cilios empuja el moco sobre la superficie epitelial.

ratorio tapiza todas las vías respiratorias excepto la parte inferior de la faringe, los conductos de menor calibre y los alvéolos. La parte inferior de la faringe está recubierta por un epitelio escamoso estratificado, que la protege contra la abrasión y los ataques químicos. Esta parte de la faringe conduce el aire a la laringe y también dirige los alimentos al esófago.

Las células mucosas del epitelio y las glándulas mucosas ubicadas en la profundidad del epitelio respiratorio (en la lámina propia) producen un moco pegajoso que cubre las superficies expuestas. En la cavidad nasal hay unos cilios que barren los restos atrapados en el moco o los microorganismos hacia la faringe, donde serán deglutidos y atacados por los ácidos y las enzimas del estómago. En los tramos inferiores de las vías respiratorias, los cilios baten también hacia la faringe, creando una *escalera mecánica mucosa* que limpia los conductos respiratorios.

Las superficies del aparato respiratorio son muy delicadas y pueden resultar gravemente dañadas si el aire inspirado está contaminado con residuos o microorganismos patógenos. Sin embargo, el aire que penetra en el aparato respiratorio es filtrado para eliminar estos contaminantes. Los mecanismos de filtración respiratoria constituyen el **sistema de defensa respiratorio**. En la cavidad nasal se eliminan del aire inspirado prácticamente todas las partículas de más de 10 μm. Las partículas de más tamaño son eliminadas por unos pelos rígidos, denominados *vibrisas,* presentes en el interior de la cavidad nasal. Las partículas más pequeñas pueden quedar atrapadas en el moco de la nasofaringe o en las secreciones de la faringe antes de seguir descendiendo por el sistema conductor. La exposición a estímulos desagradables, como vapores nocivos, grandes cantidades de polvo y residuos, alérgenos y microorganismos patógenos, suele acelerar la producción de moco (los síntomas habituales del «resfriado común» se deben a la invasión del epitelio respiratorio por alguno de los más de 200 virus).

A lo largo de toda la parte conductora del aparato respiratorio tienen lugar los procesos de filtrado, calentamiento y humidificación del aire inspirado, aunque los mayores cambios se producen en la cavidad nasal. Al respirar por la boca nos privamos de gran parte de la filtración, el calentamiento y la humidificación preliminares del aire inspirado. Los pacientes que respiran con un respirador, o ventilador mecánico, el aire que reciben entra directamente en la tráquea. Para evitar daños alveolares, es necesario filtrar y humidificar previamente ese aire en el exterior.

Nota clínica

Fibrosis quística La **fibrosis quística (FQ)** es el trastorno hereditario mortal más frecuente entre la población caucásica, con una frecuencia de un caso por cada 3.000 nacimientos. Sólo en EE. UU. nacen cada año unos 2.000 niños con este trastorno. Incluso con los nuevos tratamientos, sólo un 34% de los afectados alcanzan la edad adulta y menos del 10% superan los 30 años de edad. La muerte suele producirse por una infección bacteriana masiva de los pulmones y la insuficiencia cardiopulmonar asociada.

El problema subyacente consiste en una anomalía en una proteína de membrana responsable del transporte activo de los iones cloruro. Esta proteína de membrana es muy abundante en las células exocrinas que producen secreciones acuosas. En las personas con FQ, estas células no pueden trasportar adecuadamente las sales y el agua, y las secreciones que producen son espesas y viscosas. Este trastorno afecta a las glándulas mucosas de las vías respiratorias y las células secretorias del páncreas, las glándulas salivales, el tubo digestivo y el aparato reproductor.

Los síntomas más graves se deben a que el sistema de defensa respiratorio no puede trasportar ese moco tan denso. La escalera mecánica mucosa deja de funcionar y se forman tapones de moco que bloquean las vías respiratorias de menor calibre. Este bloqueo reduce el diámetro de las vías respiratorias, y la inactivación de las defensas respiratorias normales favorece las infecciones bacterianas frecuentes.

Se ha identificado el gen responsable de la FQ y determinado la estructura de la proteína de membrana. Ahora que se conoce bien la estructura del gen, se sigue investigando para intentar corregir esta anomalía mediante la inserción de genes normales.

Vías respiratorias superiores

Nariz y cavidad nasal [v. figura 24.3]

La nariz constituye la principal vía de entrada del aire al aparato respiratorio. En el capítulo 6 describíamos los huesos, los cartílagos y los senos asociados a la nariz [p. 138]. Normalmente, el aire entrada en el aparato respiratorio a través de las dos **ventanas nasales externas,** que conducen a la **cavidad nasal.** El **vestíbulo nasal** es la parte de la cavidad nasal rodeada por los tejidos flexibles de la nariz (**v. figura 24.3d**) y está soportada por un par de *cartílagos laterales* muy delgados y dos pares de *cartílagos alares* (**v. figura 24.3a**). El epitelio del vestíbulo nasal contiene pelos muy ásperos que salen por los orificios externos. Estos pelos atrapan las partículas de gran tamaño que viajan por el aire, como arena, aserrín o incluso insectos, evitando que entren en la cavidad nasal.

El *tabique nasal* separa los lados derecho e izquierdo de la cavidad nasal. La parte ósea del tabique nasal está formada por la fusión de la placa perpendicular del etmoides y la placa del vómer. La parte anterior del tabique nasal es de cartílago hialino. Esta placa cartilaginosa soporta el puente, o **dorso de la nariz,** y el **vértice** (punta) de la nariz.

Los maxilares superiores, los huesos nasal y frontal, el etmoides y el esfenoides forman las paredes laterales y superior de la cavidad nasal. Las secreciones mucosas producidas por los *senos paranasales* vecinos [p. 153], con la ayuda de las lágrimas que drenan por los conductos nasolagrimales, mantienen limpia y húmeda la superficie de la cavidad nasal. La parte superior, o *región olfatoria*, de la cavidad nasal comprende las zonas tapizadas por el epitelio olfativo [p. 147]: 1) la superficie inferior de la lámina cribiforme; 2) los cornetes nasales superiores del etmoides, y 3) la parte superior del tabique nasal [p. 147].

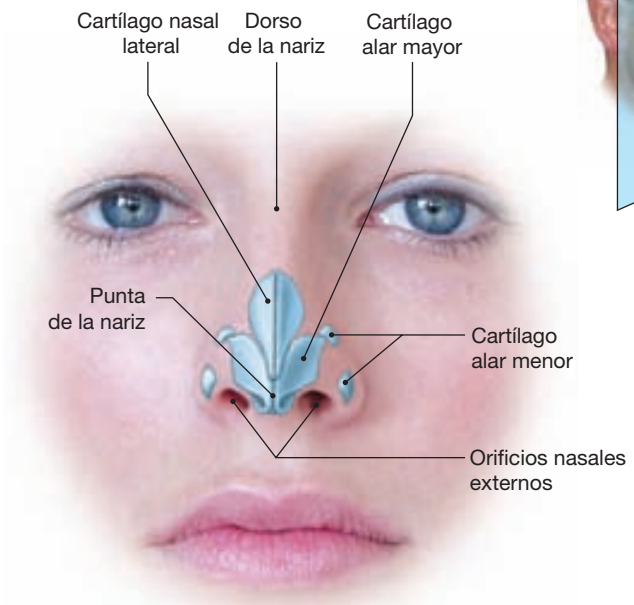
Los cornetes nasales superior, medio e inferior, o *huesos turbinados*, se proyectan desde las paredes laterales de la cavidad nasal hacia el tabique nasal. Para pasar del vestíbulo nasal a los **orificios nasales internos,** o *coanas,* el aire tiene que fluir entre cornetes contiguos, a través de los **meatos superior, medio o inferior** (*meatus*, pasadizo) (**v. figura 24.3b,d**). Más que unos pasadizos abiertos, estos meatos son unos surcos estrechos y el aire que entra en la cavidad rebota contra las superficies de los cornetes y se revuelve como el agua en los rápidos de un río. Esta turbulencia cumple una función: cuando el agua gira y se arremolina, las pequeñas partículas suspendidas en el aire tienen más probabilidades de entrar en contacto con el moco que cubre el epitelio de la cavidad nasal. Además de favorecer la filtración, las turbulencias prolongan el tiempo disponible para el calentamiento y la humidificación del aire inspirado.

Un **paladar duro** óseo, constituido por los huesos maxilar y palatino, forma el suelo de la cavidad nasal y separa las cavidades oral y nasal. Por detrás del paladar duro se extiende un **paladar blando** y carnoso que marca el límite entre la *nasofaringe* superior y el resto de la faringe (**v. figura 24.3c,d**). La cavidad nasal se abre a la nasofaringe a través de los orificios nasales internos.

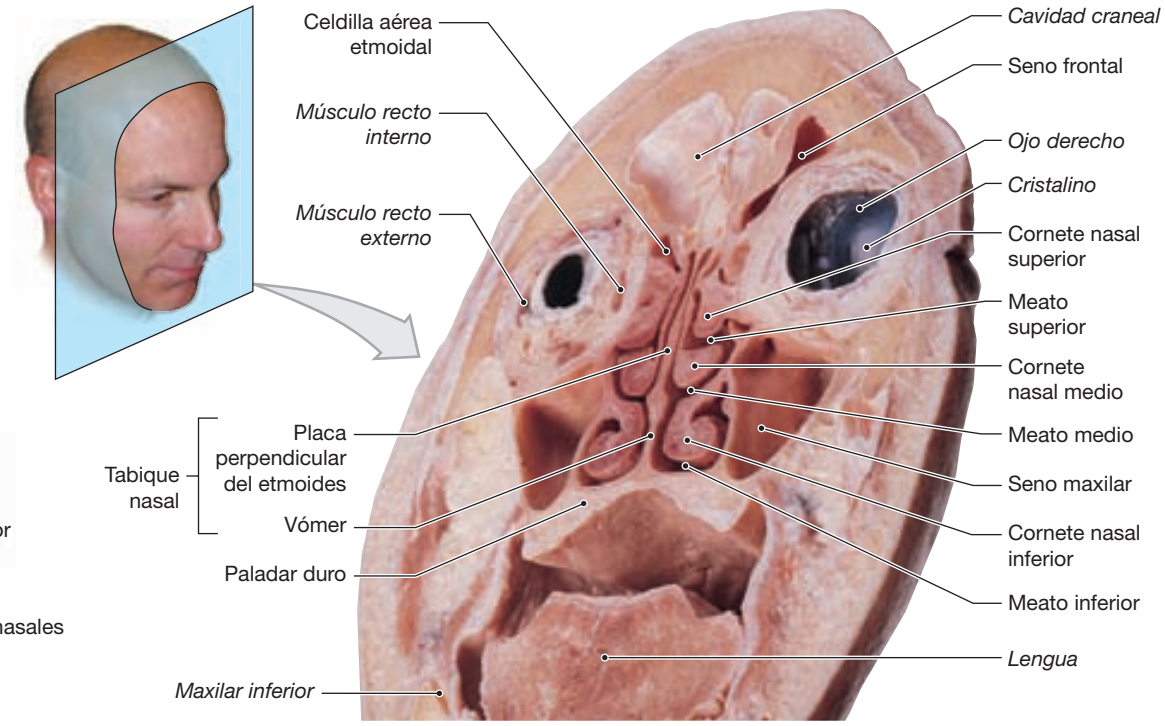
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si hace mucho frío en el exterior, ¿por qué resulta tan duro para las vías respiratorias inferiores si sólo se respira por la boca?
2. ¿Qué es la escalera mecánica mucosa?
3. ¿Cuál es la función de los cornetes nasales? ¿Cómo influye esto en las vías respiratorias inferiores?

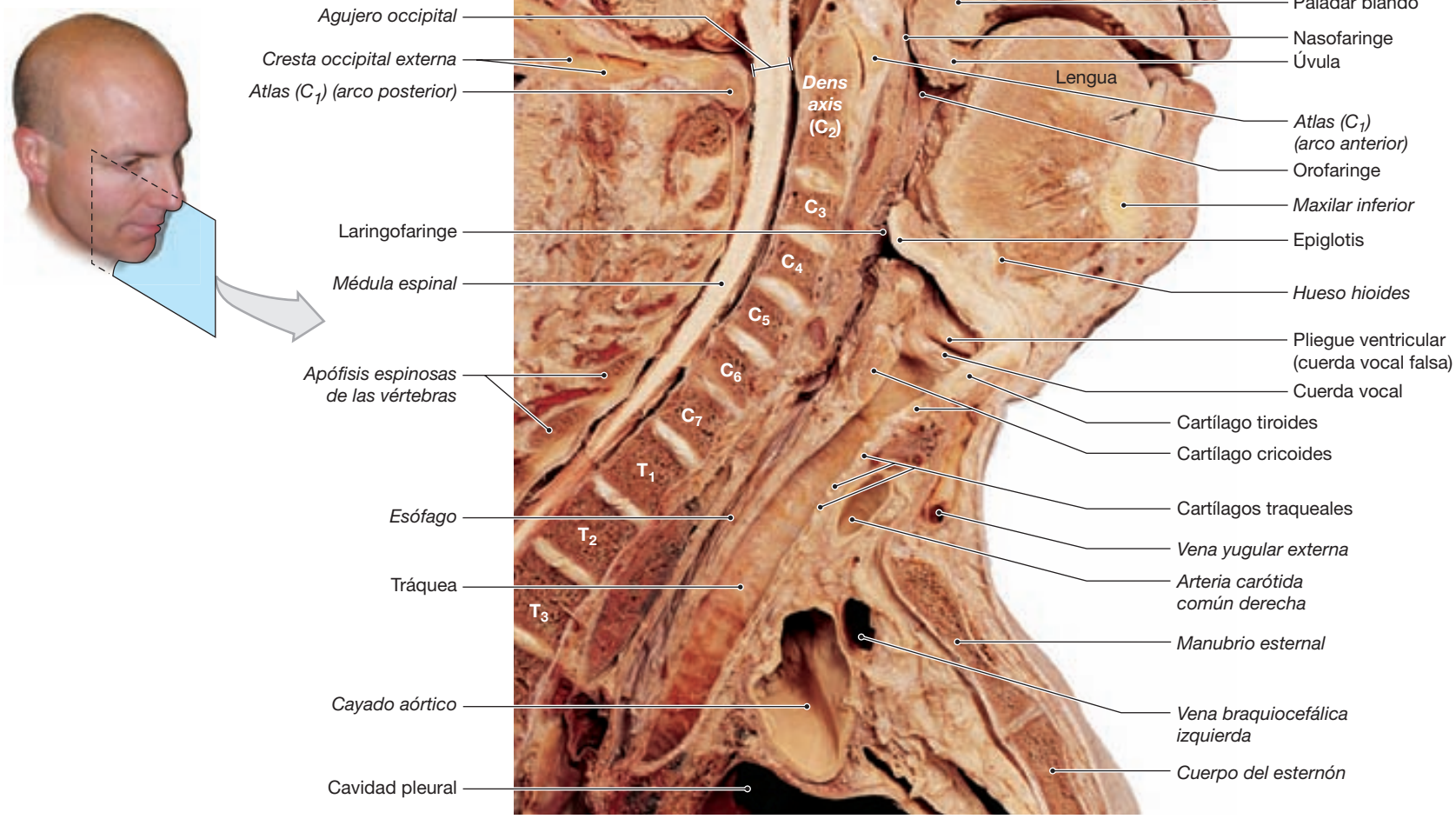
Véase «Respuestas» al final del libro.



(a) Vista anterior



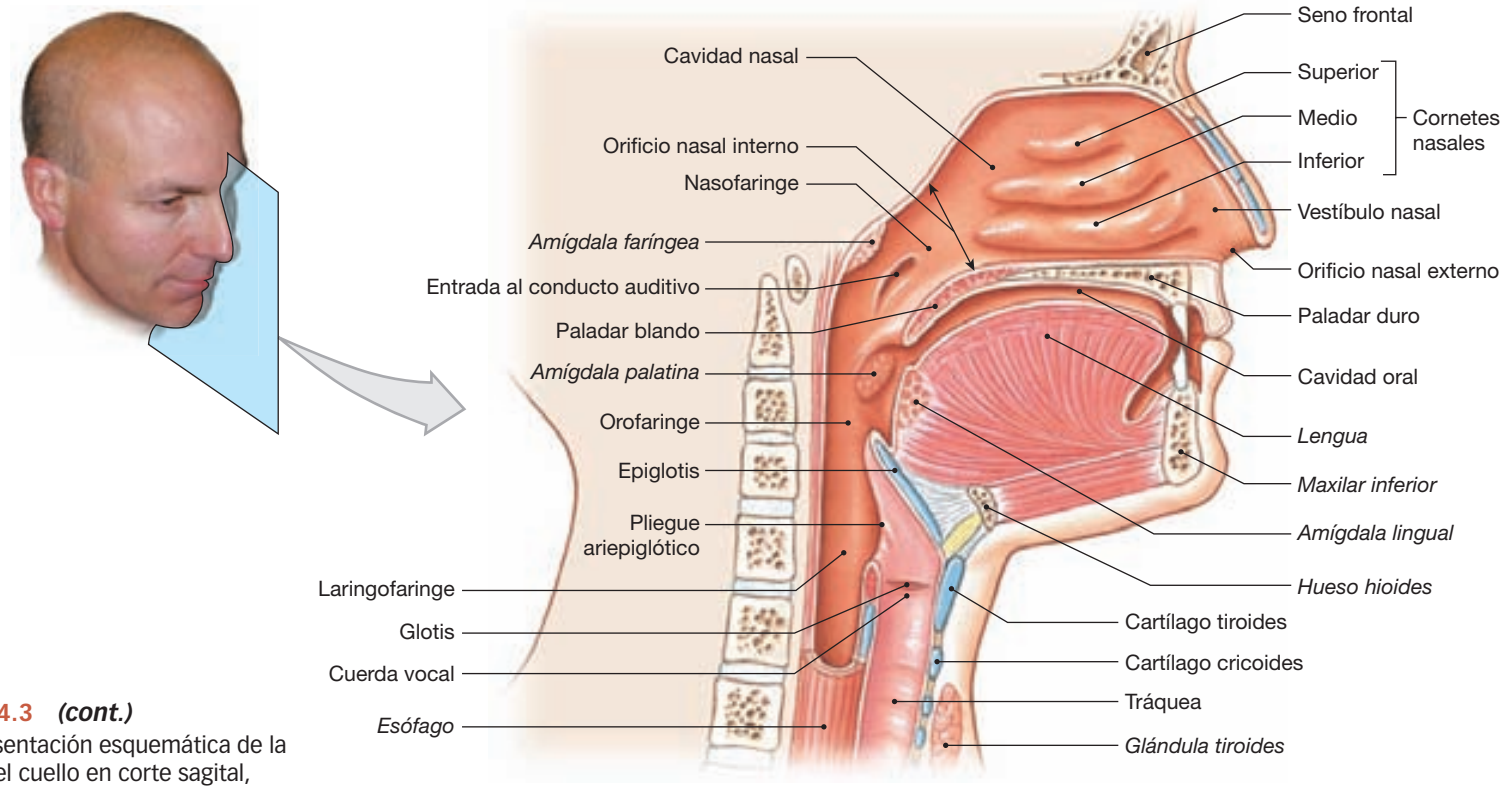
(b) Cabeza, corte coronal



(c) Cabeza y cuello, corte sagital

Figura 24.3 Estructuras respiratorias de la cabeza y el cuello

(a) Los cartílagos nasales y las referencias externas de la nariz. **(b)** Corte coronal (frontal) de la cabeza en el que se puede ver la posición de los senos paranasales y las estructuras nasales. **(c)** La cavidad nasal y la faringe, vistas en un corte sagital de la cabeza y el cuello.



(d) Corte sagital

Figura 24.3 ***(cont.)***
(d) Representación esquemática de la cabeza y el cuello en corte sagital, para compararla con (c).

Faringe [v. figura 24. 3c,d]

La nariz, la boca y la garganta se comunican entre sí por un conducto o cámara común denominada **faringe.** La faringe forma parte de los aparatos digestivo y respiratorio. Se extiende desde los orificios nasales internos hasta las entradas de la tráquea y el esófago. Sus paredes superior y posterior son curvas y están firmemente unidas al esqueleto axial, pero las paredes laterales son bastante flexibles y musculares. La faringe se divide en tres regiones (**v. figura 24.3c,d**): la *nasofaringe*, la *orofaringe* y la *laringofaringe*.

Nasofaringe [v. figura 24.3c,d]

La **nasofaringe** es la parte superior de la faringe. Se une a la parte posterior de la cavidad nasal a través de los orificios nasales internos, y está separada de la cavidad oral por el paladar blando (**v. figura 24.3c,d**).

La nasofaringe está tapizada por epitelio respiratorio típico. En la pared posterior de la nasofaringe se encuentra la *amígdala faríngea*; en sus paredes laterales se ubican las aberturas de los *conductos auditivos* (**v. figura 24.3d**).

Orofaringe [v. figuras 24 3c,d/25.5a]

La **orofaringe** (*oris*, boca) se extiende entre el paladar blando y la base de la lengua, a nivel del hueso hioides. La parte posterior de la cavidad oral y las partes posterior e inferior de la nasofaringe comunican directamente con la faringe (**v. figura 24.3c,d**). En el límite entre la nasofaringe y la orofaringe, el epitelio cambia de un epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado a un epitelio escamoso estratificado parecido al de la cavidad oral.

El borde posterior del paladar blando sostiene la **úvula** colgante y dos pares de **arcos faríngeos** musculares. A cada lado se encuentra una amígdala palatina, entre un **arco palatogloso** anterior y un **arco palatofaríngeo** posterior (**v. figura 25.5a**). Una línea curva que une los arcos palatoglosos y la úvula forma los límites de las **fauces,** el conducto que une la cavidad oral y la orofaringe.

Laringofaringe [v. figura 24 3c,d]

La **laringofaringe** es una estructura estrecha que comprende la parte de la faringe que se encuentra situada entre el hueso hioides y la entrada al esófago (**v. figura 24.3c,d**). La laringofaringe es la parte más inferior de la faringe y, al igual que la orofaringe, está revestida por un epitelio escamoso estratificado que puede soportar la abrasión mecánica, los ataques químicos y la invasión de microorganismos patógenos.

Vías respiratorias inferiores

Laringe [v. figuras 24.3d/24.4]

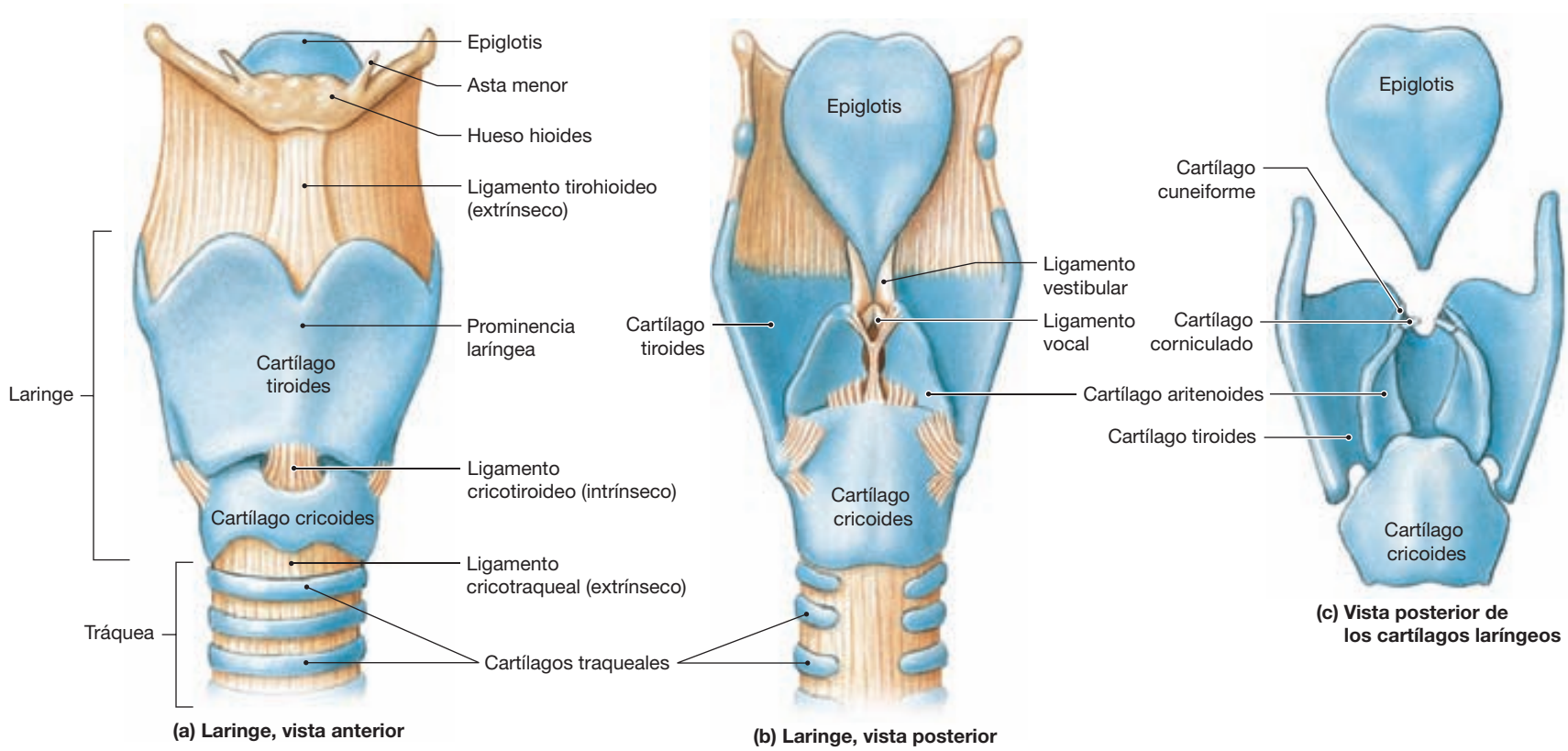
El aire inspirado (inhalado) abandona la faringe a través de una abertura estrecha: la **glotis** (**v. figura 24.3d**). La **laringe** comienza a nivel de la cuarta o quinta vértebra cervical y termina a nivel de la séptima vértebra cervical. Básicamente, es un cilindro de paredes cartilaginosas estabilizadas por ligamentos, músculos estriados o ambos.

Cartílagos de la laringe [v. figura 24.4]

El cuerpo de la laringe está formado por tres cartílagos impares de gran tamaño: el *cartílago tiroides,* el *cartílago cricoides* y la *epiglotis* (**v. figura 24.4**). Los cartílagos tiroides y cricoides son cartílagos hialinos; el cartílago epiglótico es un cartílago elástico.

Cartílago tiroides [v. figura 24.4a,b] El cartílago laríngeo de mayor tamaño es el **cartílago tiroides** («con forma de escudo»). Este cartílago forma la mayor parte de las paredes anterior y lateral de la laringe (**v. figura 24.4a,b**). En los cortes sagitales, el cartílago tiroides está incompleto en su parte posterior. La superficie anterior de este cartílago forma un reborde grueso: la **prominencia laríngea.** Este reborde puede verse y palparse fácilmente; el cartílago tiroides recibe a menudo el nombre de *nuez*. Durante el desarrollo embrionario, el cartílago tiroides se forma a partir de dos fragmentos de cartílago que se unen en la línea media anterior formando la prominencia laríngea.

La superficie inferior del cartílago tiroides se articula con el cartílago cricoides; de la superficie superior salen inserciones ligamentosas para la epiglotis y los cartílagos laríngeos menores.



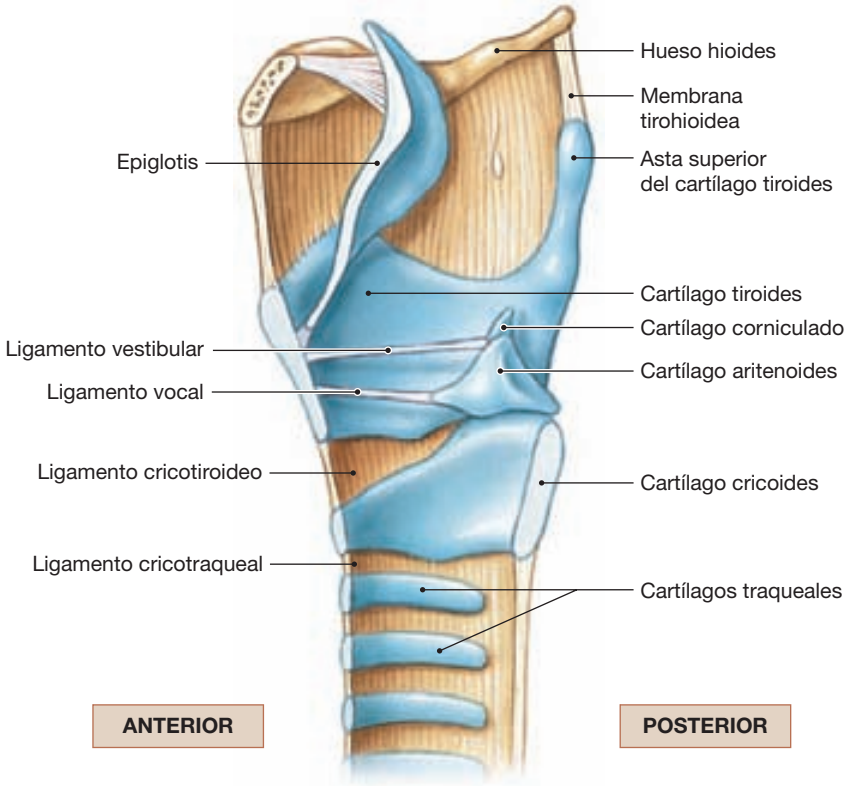


Figura 24.4 Anatomía de la laringe
(a) Vista anterior de la laringe intacta. **(b)** Vista posterior de la laringe intacta. **(c)** Vista posterior en la que se aprecian las relaciones entre los diferentes cartílagos laríngeos. **(d)** Corte sagital de la laringe intacta.

Cartílago cricoides [v. figura 24.4a,c] El cartílago tiroides se encuentra sobre el **cartílago cricoides** («con forma de anillo»). El cartílago cricoides es un anillo completo con una parte posterior muy amplia, que actúa como soporte allí donde falta el cartílago tiroides. Los cartílagos cricoides y tiroides protegen la glotis y la entrada a la tráquea, y tienen unas superficies muy amplias en las que se insertan importantes músculos y ligamentos laríngeos. La superficie inferior del cartílago cricoides está unida por unos ligamentos al primer cartílago de la tráquea (v. figura 24.4 a,c). La superficie superior del cartílago cricoides se articula con dos pequeños cartílagos, los *cartílagos aritenoides.*

Epiglotis [v. figuras 24.3c,d/24.4b,c,d] La **epiglotis** tiene forma de calzador y se proyecta por encima de la glotis (v. figuras 24.3c,d y 24.4b,c,d). El *cartílago epiglótico* que la sustenta envía inserciones ligamentosas a los bordes anterior y superior del cartílago tiroides y el hueso hioides. Durante la deglución, la laringe asciende y la epiglotis se pliega sobre la glotis, impidiendo la entrada de líquidos o alimentos sólidos a las vías respiratorias.

Cartílagos laríngeos pares [v. figuras 24.4b-d/24.5] La laringe contiene además tres pares de cartílagos más pequeños: los *cartílagos aritenoides, corniculados* y *cuneiformes*. Los cartílagos aritenoides y corniculados son hialinos; los cartílagos cuneiformes son elásticos.

- Los dos **cartílagos aritenoides** («con forma de cucharón») se articulan con el borde superior de la parte más amplia del cartílago cricoides (v. figura 24.4b-d).
- Los **cartílagos corniculados** («con forma de cuerno») se articulan con los cartílagos aritenoides (v. figuras 24.4c,d y 24.5). Los cartílagos corniculados y aritenoides participan en la apertura y el cierre de la glotis y en la producción del sonido.
- Los **cartílagos cuneiformes** («con forma de cuña») son curvos y alargados y se encuentran dentro del *pliegue ariepiglótico*, que va desde la cara lateral de cada uno de los cartílagos aritenoides a la epiglotis (v. figuras 24.4c y 24.5).

Ligamentos laríngeos [v. figuras 24.4a,b/24.5]

Una serie de **ligamentos intrínsecos** unen entre sí los nueve cartílagos para formar la laringe (v. figura 24.4a,b). Los **ligamentos extrínsecos** fijan el cartílago tiroides al hueso hioides y el cartílago cricoides a la tráquea. Los **ligamentos vestibulares** y los **ligamentos vocales** se extienden entre el cartílago tiroides y los aritenoides.

Los ligamentos vestibulares y vocales están cubiertos por pliegues de epitelio laríngeo que se proyectan hacia la glotis. Los ligamentos vestibulares se encuentran dentro de los dos pliegues superiores, conocidos como **pliegues vestibulares** (v. figuras 24.4b y 24.5). Los pliegues vestibulares, que son relativamente inelásticos, impiden que entren objetos extraños en la glotis y protegen los **pliegues vocales,** más delicados.

Los pliegues vocales son muy elásticos, ya que el ligamento vocal es una banda de tejido elástico. Los pliegues vocales intervienen en la producción de sonidos, y por esta razón reciben el nombre de **cuerdas vocales verdaderas.** Como los pliegues vestibulares no intervienen en la producción de sonidos, a menudo reciben el nombre de **cuerdas vocales falsas.**

Producción de sonidos El aire que pasa por la glotis hace vibrar los pliegues vocales y produce ondas sonoras. El tono del sonido producido depende del diámetro, la longitud y la tensión de los pliegues vocales. El diámetro y la longitud dependen directamente del tamaño de la laringe. La tensión se controla mediante la contracción de músculos voluntarios que modifican las posiciones relativas de los cartílagos tiroides y aritenoides. Cuando aumenta la distancia, los pliegues vocales se tensan y el tono se eleva; cuando la distancia disminuye, los pliegues vocales se relajan y el tono baja.

Los niños tienen unos pliegues vocales cortos y delgados y sus voces suelen ser muy agudas. Durante la pubertad, la laringe masculina aumenta de tamaño bastante más que la femenina. Las cuerdas vocales verdaderas de un varón adulto son más gruesas y largas, y producen tonos más graves que las de una mujer adulta.

En la producción de sonidos interviene toda la laringe, ya que sus paredes vibran creando un sonido compuesto. La faringe, la cavidad oral, la cavidad nasal y los senos paranasales amplifican el sonido y actúan como una caja de resonancia. La producción final de los diferentes sonidos depende de los movimientos voluntarios de la lengua, los labios y las mejillas.

Musculatura laríngea [v. figura 24.6]

La laringe posee dos grupos diferentes de músculos, los *músculos laríngeos intrínsecos* y los *músculos laríngeos extrínsecos*. Los **músculos laríngeos intrínsecos** cumplen dos funciones fundamentalmente. Un primer grupo regula la tensión de los pliegues vocales, mientras que un segundo grupo abre y cierra la glotis. Los músculos de los pliegues vocales se insertan en los cartílagos tiroides, aritenoides y corniculados. La apertura o el cierre de la glotis implican un movimiento de rotación de los aritenoides que separa o junta los pliegues vocales.

Los **músculos laríngeos extrínsecos** colocan y estabilizan la laringe. Estos músculos se describen en el capítulo 10 [p. 270].

Durante la deglución, los músculos extrínsecos e intrínsecos cooperan para impedir que la comida o la bebida entren en la glotis. Antes de deglutir, los alimentos son machacados y masticados hasta que forman una masa pastosa denominada *bolo*. A continuación, los músculos extrínsecos elevan la laringe, plegando la epiglotis sobre la entrada de la glotis, de manera que el bolo puede deslizarse sobre la epiglotis en lugar de caer a la laringe (v. figura 24.6). Mientras se produce este movimiento, los músculos intrínsecos cierran la glotis. Si alguna partícula de comida o líquido toca la superficie de los pliegues vestibulares vocales, se pone en marcha el reflejo de la tos. Normalmente, la tos impide que el material deglutido entre en la glotis.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son las funciones del cartílago tiroides?
2. ¿Cuál es la función de la epiglotis?
3. Laurel contrae los músculos voluntarios para reducir la distancia entre sus cartílagos tiroides y aritenoides. ¿Qué le sucede al tono de su voz?
4. ¿Cómo afectaría a la deglución la ausencia de los músculos laríngeos intrínsecos?

Véase «Respuestas» al final del libro.

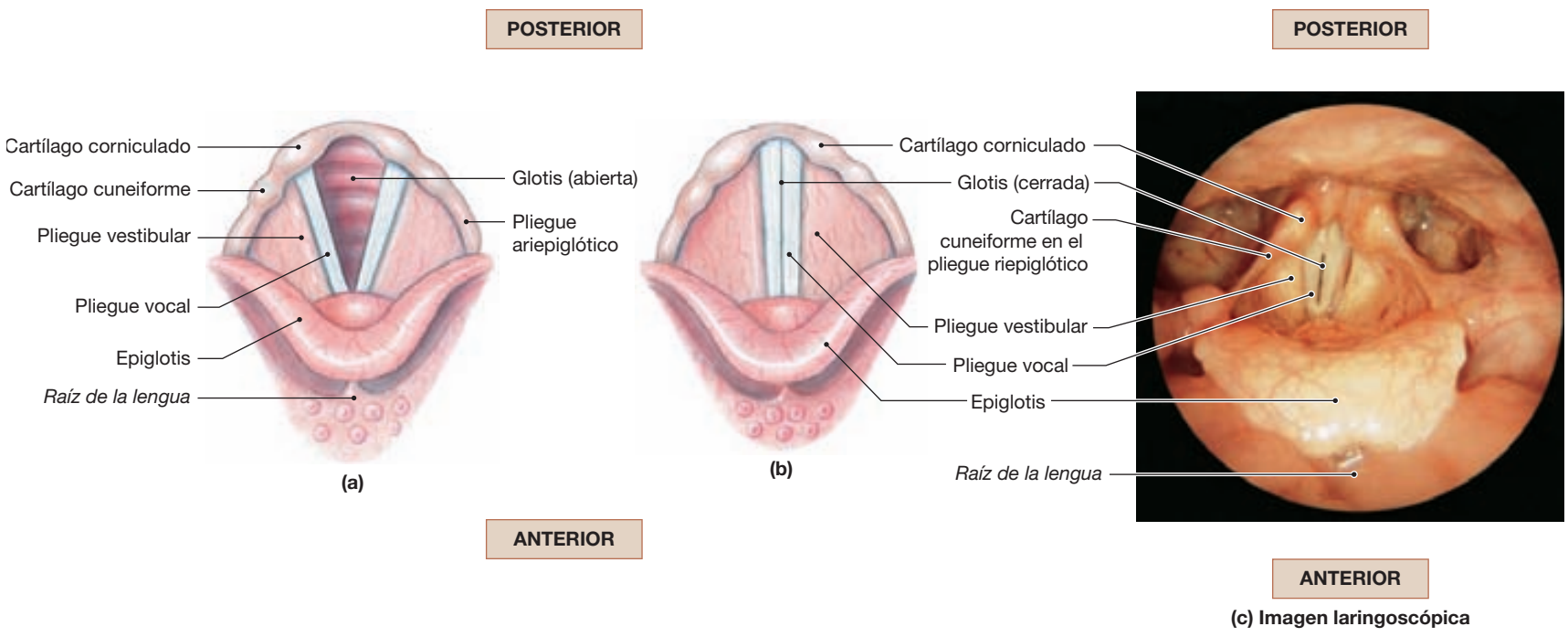


Figura 24.5 Las cuerdas vocales
Se puede ver la glotis abierta **(a)** y cerrada **(b)**. La fotografía **(c)** es una imagen laringoscópica representativa. Para conseguir esta imagen hay que introducir la cámara en la orofaringe, justo por encima de la laringe.

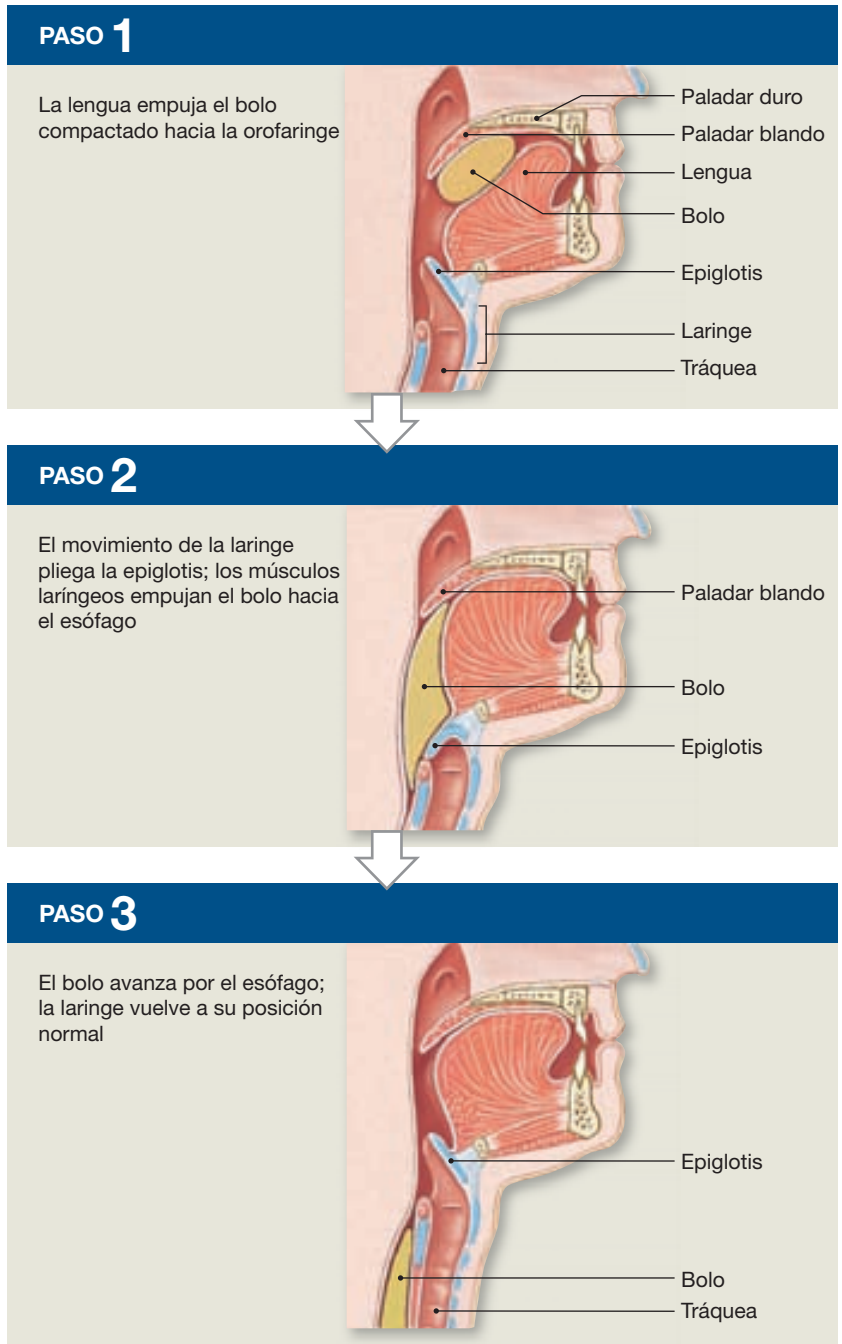


Figura 24.6 Movimientos de la laringe durante la deglución
Durante la deglución, el ascenso de la laringe pliega la epiglotis sobre la glotis, dirigiendo los materiales hacia el esófago.

Tráquea [v. figuras 24.2a/24.3c/24.7]

El epitelio laríngeo se continúa con el de la **tráquea**. La tráquea es un tubo resistente y flexible, con un diámetro de 2,5 cm y una longitud de 11 cm, aproximadamente (**v. figuras 24.3c**, p. 633, y **24.7**). La tráquea comienza por delante de la sexta vértebra cervical, en la inserción ligamentosa al cartílago cricoides, y termina en el mediastino, a nivel de la quinta vértebra dorsal, donde se ramifica dando lugar a los *bronquios primarios, o principales, derecho e izquierdo*.

La tráquea está tapizada por epitelio respiratorio sobre una capa de tejido conjuntivo laxo denominada **lámina propia** (**v. figura 24.2a**, p. 631). La lámina propia separa el epitelio respiratorio de los cartílagos subyacentes. El epitelio y la lámina propia son interdependientes, y su combinación representa un buen ejemplo de *membrana mucosa*, o **mucosa** [p. 72].

La mucosa está rodeada por una capa gruesa de tejido conjuntivo: la **submucosa.** La submucosa contiene glándulas mucosas que se comunican con la superficie epitelial a través de una serie de conductos secretorios.

Por fuera de la submucosa, la tráquea presenta 15-20 **cartílagos traqueales** (**v. figura 24.7**). Cada cartílago traqueal está unido a los cartílagos vecinos por **ligamentos anulares** elásticos. Los cartílagos traqueales confieren rigidez a las paredes traqueales y protegen la vía respiratoria. También impiden que se colapse o se expanda excesivamente con las fluctuaciones de presión del aparato respiratorio.

Los cartílagos traqueales tienen forma de C. La parte cerrada de la C protege las superficies anterior y lateral de la tráquea. La parte abierta de los cartílagos traqueales se orienta hacia atrás, hacia el esófago (**v. figura 24.7b**). Como los cartílagos no rodean totalmente la tráquea, la pared traqueal posterior puede cambiar fácilmente de forma durante la deglución, lo que permite el tránsito de grandes masas de alimentos a través del esófago.

Un ligamento elástico y una banda de músculo liso, el **traqueal,** conectan los extremos de cada cartílago traqueal (**v. figura 24.7b**). La contracción del músculo traqueal altera el diámetro de la luz traqueal, modificando la resistencia al flujo del aire. La activación simpática relaja el músculo traqueal, aumentando el diámetro de la tráquea y facilitando el paso de grandes volúmenes de aire por las vías respiratorias.

Bronquios principales [v. figura 24.7a]

La tráquea se ramifica en el mediastino, dando origen a los **bronquios primarios,** o *principales*, **derecho** e **izquierdo.** Los bronquios primarios derecho e izquierdo se encuentran fuera de los pulmones y reciben el nombre de **bronquios extrapulmonares.** Entre las entradas a los dos bronquios primarios existe un reborde interno, denominado **carina** (**v. figura 24.7a**). Los bronquios primarios tienen la misma organización histológica que la tráquea, con anillos cartilaginosos de soporte en forma de C. El bronquio primario derecho corresponde al pulmón derecho, mientras que el bronquio primario

Nota clínica

Bloqueo traqueal Los cuerpos extraños (normalmente alimentos) que quedan alojados en la laringe o la tráquea suelen expulsarse por medio de la tos. Si la persona puede hablar o emitir algún sonido, las vías respiratorias están despejadas y no se debe tomar ninguna medida urgente. Si la víctima no puede respirar ni hablar, su vida corre un peligro inminente. Por desgracia, algunas víctimas se sienten muy avergonzadas por la situación, no llegan a reconocer el peligro y, en lugar de buscar ayuda, corren al servicio más cercano y mueren allí sin hacer ningún ruido.

En la **maniobra de Heimlich**, o *impulso abdominal*, una persona comprime el abdomen justo por debajo del diafragma. La compresión obliga al diafragma a ascender y puede generar suficiente presión para eliminar el bloqueo. Conviene realizar esta maniobra correctamente para evitar daños de los órganos internos. Organizaciones como la Cruz Roja, el servicio local de bomberos y otras asociaciones benéficas suelen impartir cursillos durante todo el año.

Si el bloqueo persiste, una persona con la debida cualificación profesional puede practicar una **traqueostomía:** se realiza una incisión a través de la pared traqueal anterior y se introduce un tubo. Este tubo sobrepasa la laringe y permite la entrada directa del aire en la tráquea. También se puede necesitar una traqueostomía: 1) cuando la laringe queda bloqueada por un cuerpo extraño, una inflamación o un espasmo laríngeo prolongado; 2) cuando parte de la tráquea resulta aplastada, o 3) cuando se suprime una parte de la tráquea como parte del tratamiento de un tumor laríngeo.

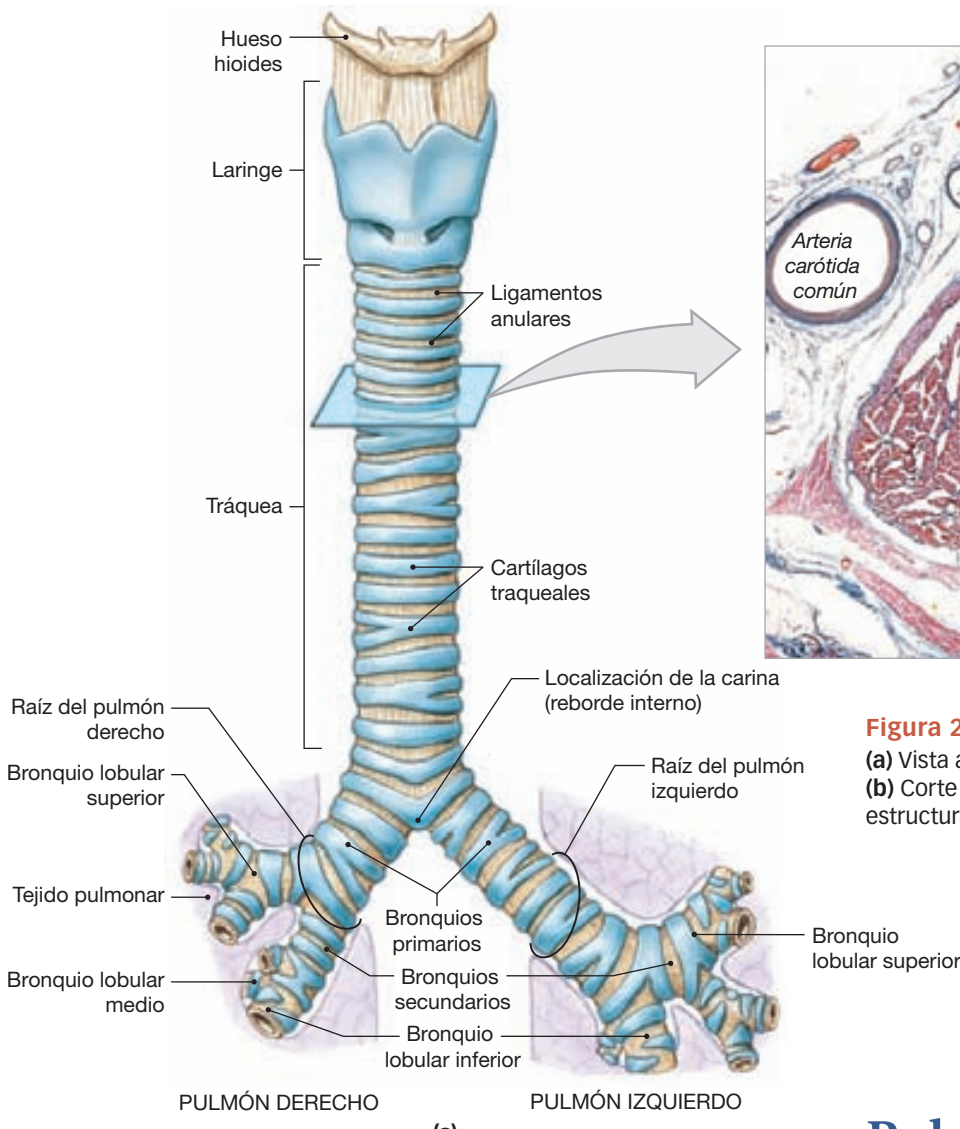


Figura 24.7 Anatomía de la tráquea y los bronquios primarios
(a) Vista anterior en disección, indicando el plano de corte de la parte (b). **(b)** Corte histológico transversal de la tráquea; se puede ver su relación con las estructuras circundantes.

izquierdo corresponde al pulmón izquierdo. El bronquio primario derecho tiene más diámetro que el izquierdo y desciende hacia el pulmón en un ángulo más pronunciado. Por estos motivos, los objetos extraños que penetran en la tráquea suelen quedar alojados en el bronquio derecho más que en el izquierdo.

Cada uno de los bronquios primarios desciende hasta un surco situado en la superficie medial de su pulmón correspondiente antes de ramificarse nuevamente. Este surco, el **hilio,** representa además el punto de acceso para los vasos y nervios pulmonares. Todo este dispositivo se encuentra anclado firmemente dentro de una malla de tejido conjuntivo denso. Este complejo, conocido como **raíz** del pulmón, lo une al mediastino y fija las posiciones de los principales nervios, vasos y linfáticos.

Las raíces de los pulmones se encuentran por delante de la quinta vértebra dorsal (pulmón derecho) y de la sexta vértebra dorsal (pulmón izquierdo).

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Los cartílagos que refuerzan la tráquea tienen forma de C y no llegan a formar anillos completos. ¿Cómo puede esta configuración facilitar la deglución y proteger al mismo tiempo la tráquea?
2. ¿Qué tipo de epitelio puede observarse en la tráquea?
3. ¿Cómo intervienen los cartílagos traqueales en la respiración?
4. ¿Cómo se puede distinguir el bronquio primario derecho del izquierdo?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Pulmones [v. figura 24.8]

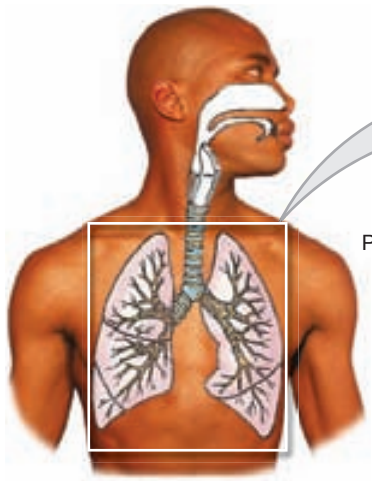
Los pulmones izquierdo y derecho (v. figura 24.8) se localizan en las cavidades pleurales izquierda y derecha, respectivamente. Cada pulmón forma un cono romo con la punta, o **vértice,** apuntando hacia arriba. Ambos vértices llegan hasta la base del cuello, por encima de la primera costilla. La parte inferior, o **base,** de cada pulmón es amplia y cóncava y se apoya en la superficie superior del diafragma.

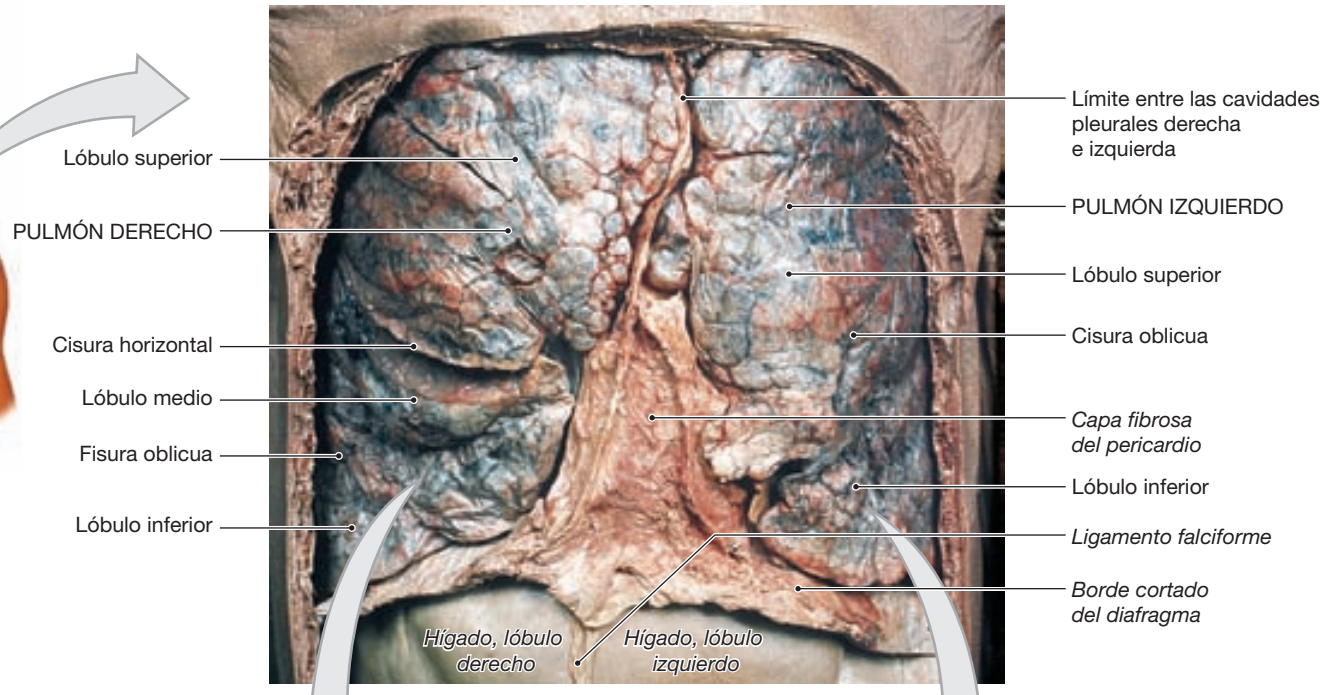
Lóbulos pulmonares [v. figura 24.8]

Los pulmones constan de varios **lóbulos** separados por cisuras profundas. El **pulmón derecho** tiene tres lóbulos: **superior, medio** e **inferior.** La *cisura horizontal* separa los lóbulos superior y medio. La *cisura oblicua* separa los lóbulos superior e inferior. El **pulmón izquierdo** tiene sólo dos lóbulos, **superior** e **inferior,** separados por la *cisura oblicua* (v. figura 28.4). El pulmón derecho es más ancho que el izquierdo debido a que la mayor parte del corazón y los grandes vasos protruyen hacia la cavidad pleural izquierda. Sin embargo, el pulmón izquierdo es más largo que el derecho debido a que el diafragma asciende en el lado derecho para amoldarse a la masa del hígado.

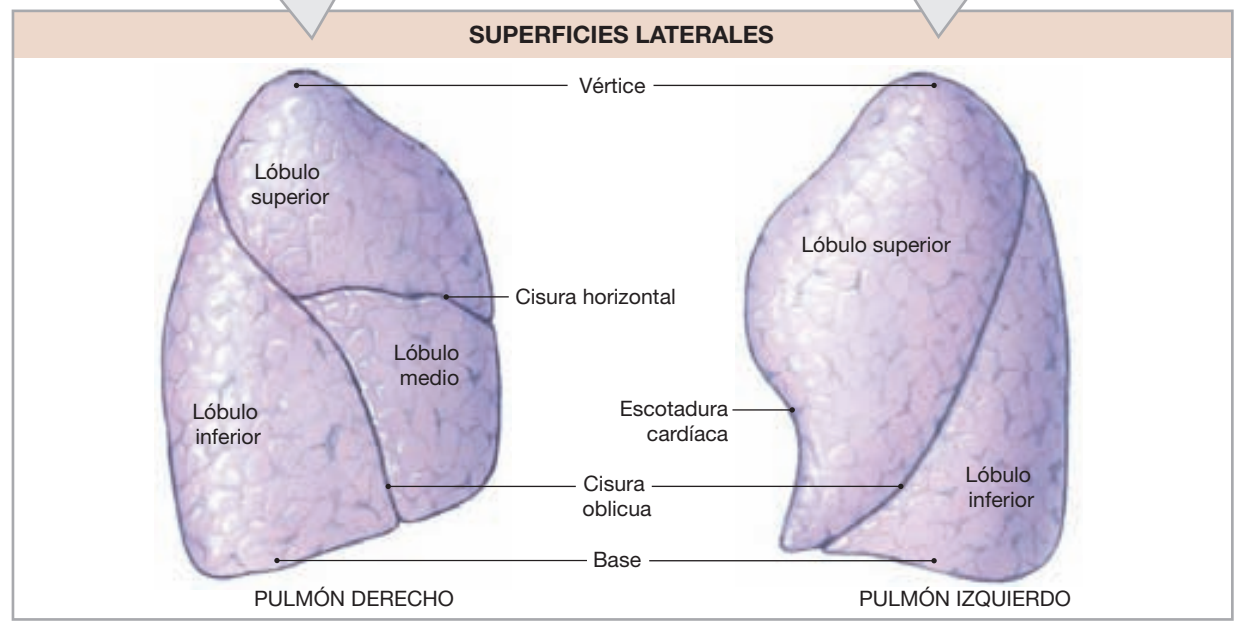
Superficies pulmonares [v. figura 24.8]

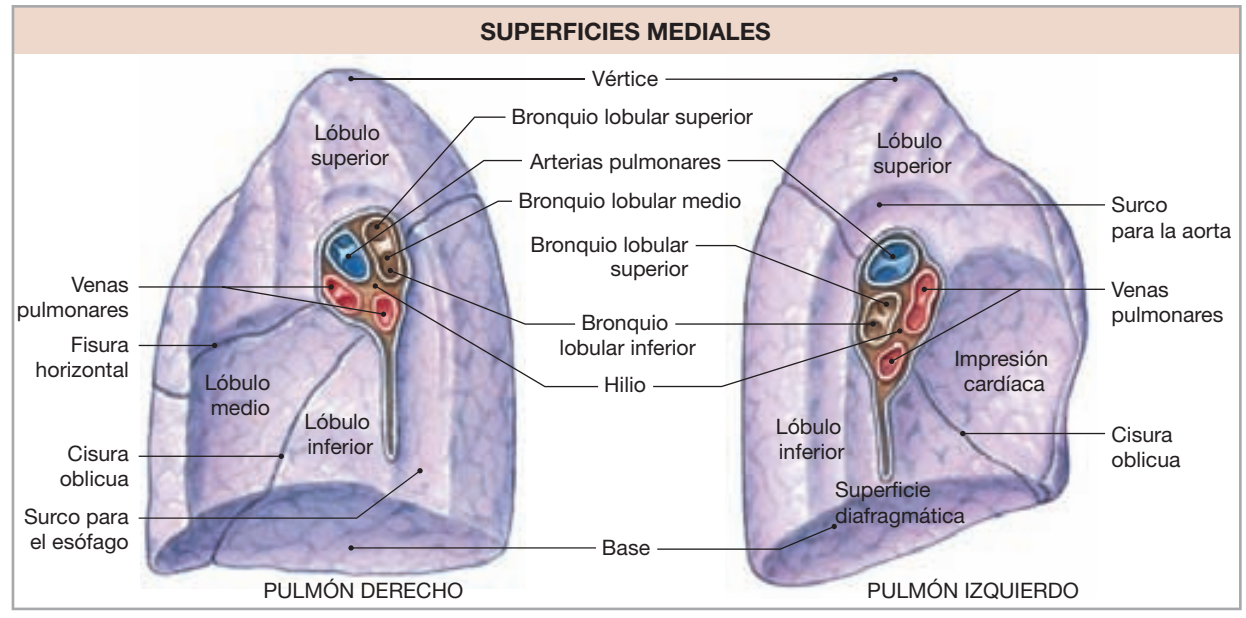
La parte curva anterior del pulmón que se adapta al contorno interno de la jaula costal es la **superficie costal** (v. figura 24.8a). La **superficie mediastínica**, o *superficie medial,* contiene el hilio y tiene una forma más irregular (v. figura 24.8b). En las superficies mediastínicas de ambos pulmones hay depresiones que indican las posiciones de los grandes vasos y el corazón. El corazón se encuentra a la izquierda de la línea media, y el pulmón izquierdo





(a) Cavidad torácica, vista anterior





(b) Pulmones derecho e izquierdo

Figura 24.8 Anatomía superficial de los pulmones
(a) Vista anterior del tórax abierto, en la que se aprecian las posiciones relativas de los pulmones izquierdo y derecho y del corazón.
(b) Representación esquemática de las superficies laterales y mediales de los pulmones derecho e izquierdo por separado.

presenta una *impresión cardíaca* muy amplia. Desde el punto de vista anterior, el borde medial del pulmón derecho forma una línea vertical, mientras que el borde medial del pulmón izquierdo presenta una concavidad: la **escotadura cardíaca.**

El tejido conjuntivo de la raíz de cada uno de los pulmones penetra hasta su sustancia, o **parénquima.** Estas particiones fibrosas, o **trabéculas,** contienen fibras elásticas, músculo liso y linfáticos. Se ramifican numerosas veces, dividiendo los lóbulos en compartimientos cada vez más pequeños. Las ramas de las vías conductoras, los vasos pulmonares y los nervios de los pulmones siguen estas trabéculas hasta alcanzar sus destinos periféricos. Las particiones terminales, o **tabiques,** dividen el pulmón en **lobulillos,** cada uno de los cuales depende de ramas tributarias de las arterias pulmonares, las venas pulmonares y las vías respiratorias. A su vez, el tejido conjuntivo de los tabiques se continúa con el de la pleura visceral. A continuación, seguiremos el patrón de ramificación de los bronquios desde el hilio hasta los alvéolos de cada pulmón.

Bronquios pulmonares [v. figuras 24.7/24.9/24.10]

Los bronquios primarios y sus ramificaciones forman el *árbol bronquial*. Como los bronquios izquierdo y derecho se encuentran fuera de los pulmones, reciben el nombre de *bronquios extrapulmonares*. Cuando los bronquios primarios penetran en los pulmones, se dividen formando vías respiratorias de menor calibre (**v. figuras 24.7, 24.9** y **24.10**). En conjunto, estas ramificaciones reciben el nombre de *bronquios intrapulmonares.*

Cada uno de los bronquios primarios se divide en una serie de **bronquios secundarios,** también denominados **bronquios lobulares.** A su vez, los bronquios secundarios se ramifican y dan lugar a los **bronquios terciarios,** o **bronquios segmentarios.** El patrón de ramificación es diferente en cada uno de los pulmones; mas adelante, explicaremos las diferencias. Cada bronquio terciario conduce aire a un único *segmento broncopulmonar,* una región específica del pulmón (**v. figura 24.10a,b**). El pulmón derecho tiene 10 bronquios terciarios (y 10 segmentos broncopulmonares). El pulmón izquierdo presenta también 10 segmentos durante el desarrollo, pero la fusión posterior suele reducir ese número a ocho o nueve segmentos. Las paredes de los bronquios primarios, secundarios y terciarios contienen cada vez menos cartílago. Las paredes de los bronquios secundarios y terciarios contienen placas de cartílago alrededor de la luz. Estos cartílagos cumplen las mismas funciones que los anillos cartilaginosos de la tráquea y los bronquios primarios.

Ramas del bronquio principal derecho [v. figuras 24.7/24.10]

El pulmón derecho tiene tres lóbulos, y el bronquio principal derecho se divide en tres bronquios secundarios: un **bronquio lobular superior,** un **bronquio lobular medio** y un **bronquio lobular inferior.** Los bronquios lobulares medio e inferior se separan del bronquio principal derecho casi inmediatamente después de que este penetra en el hilio pulmonar (**v. figura 24.7**). Cada rama lobular suministra aire a uno de los lóbulos del pulmón derecho (**v. figura 24.10**).

Ramas del bronquio principal izquierdo [v. figuras 24 7/24.9/24.10]

El pulmón izquierdo tiene dos lóbulos, y el bronquio principal izquierdo se divide en dos bronquios secundarios: un **bronquio lobular superior** y un **bronquio lobular inferior** (**v. figuras 24.7, 24.9** y **24.10**).

Ramas de los bronquios secundarios [v. figura 24.10a,d]

Los bronquios secundarios de cada pulmón se dividen para formar bronquios terciarios. En el pulmón derecho el lóbulo superior recibe tres bronquios terciarios, el lóbulo medio dos y el lóbulo inferior cinco. El lóbulo superior del pulmón izquierdo suele tener cuatro bronquios terciarios, mientras que el lóbulo inferior tiene cinco (**v. figura 24.10a,d**). Los bronquios terciarios suministran aire a los segmentos broncopulmonares de los pulmones.

Segmentos broncopulmonares [v. figura 24.10a,b,d]

Podemos dividir cada lóbulo pulmonar en unidades más pequeñas denominadas **segmentos broncopulmonares.** Cada segmento broncopulmonar está constituido por el tejido pulmonar que está asociado a un determinado bronquio terciario. Los segmentos broncopulmonares reciben nombres que se corresponden con los nombres de los bronquios terciarios a los que están asociados (**v. figura 24.10a,b,d**).

Bronquíolos [v. figuras 24.9/24.11a,b]

Cada bronquio terciario se ramifica varias veces dentro del segmento broncopulmonar, dando origen finalmente a 6.500 **bronquíolos terminales** de menor calibre. Los bronquíolos terminales tienen un diámetro luminal de 0,3-0,5 mm. En las paredes de los bronquíolos terminales, que carecen de soporte cartilaginoso, predomina el tejido muscular liso (**v. figuras 24.9** y **24.11a,b**). El sistema

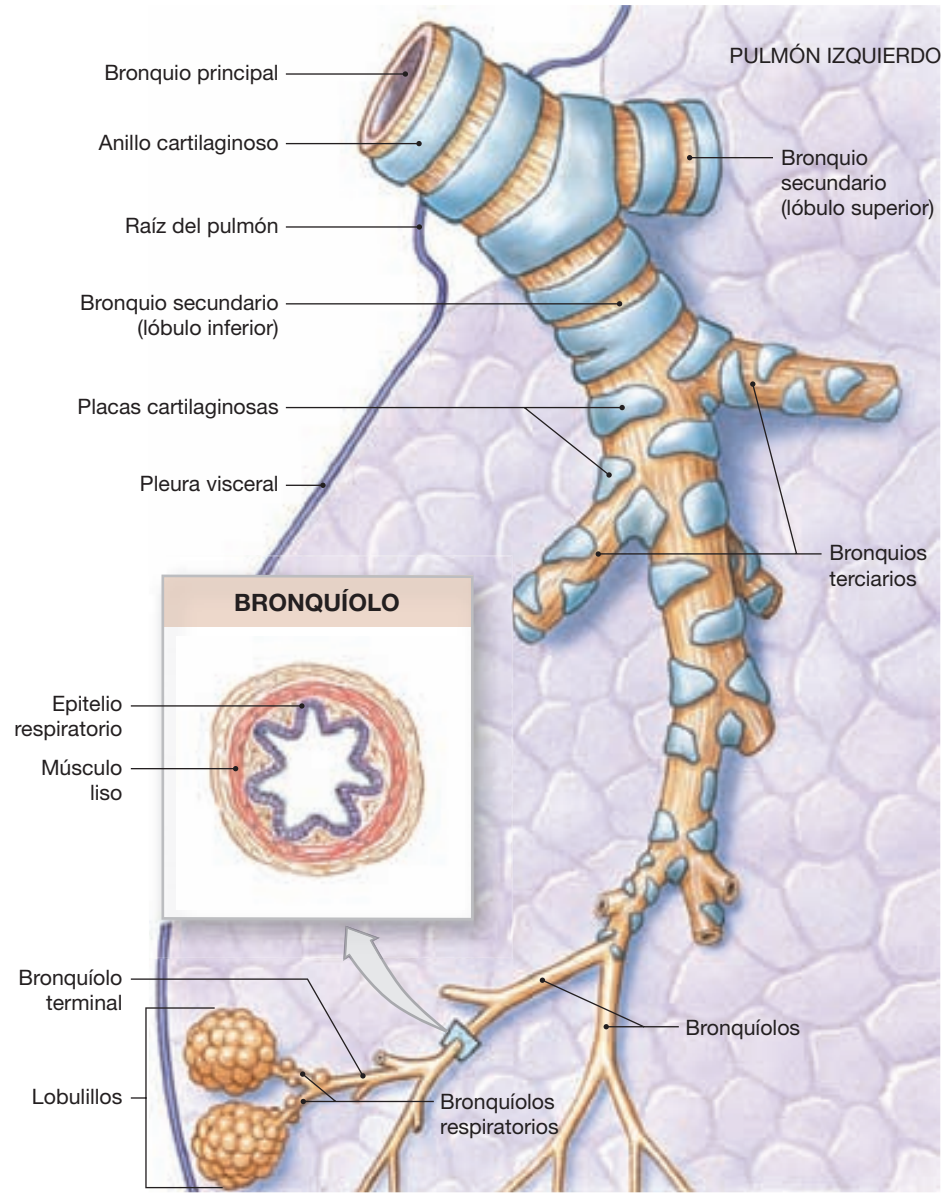
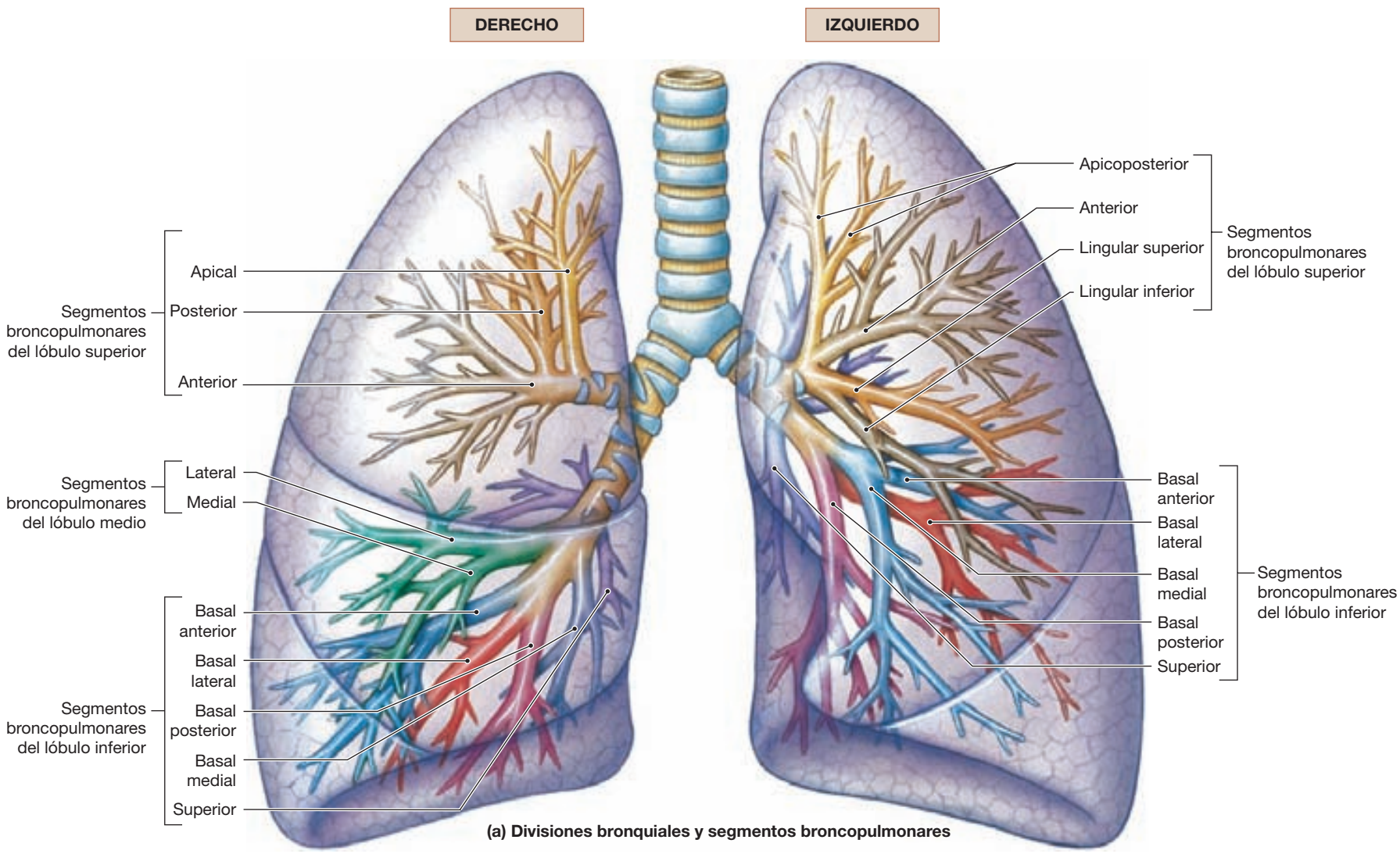


Figura 24.9 Bronquios y bronquíolos
Para mayor claridad se ha reducido la ramificación; una vía respiratoria se ramifica aproximadamente 23 veces antes de alcanzar el nivel de un lobulillo.

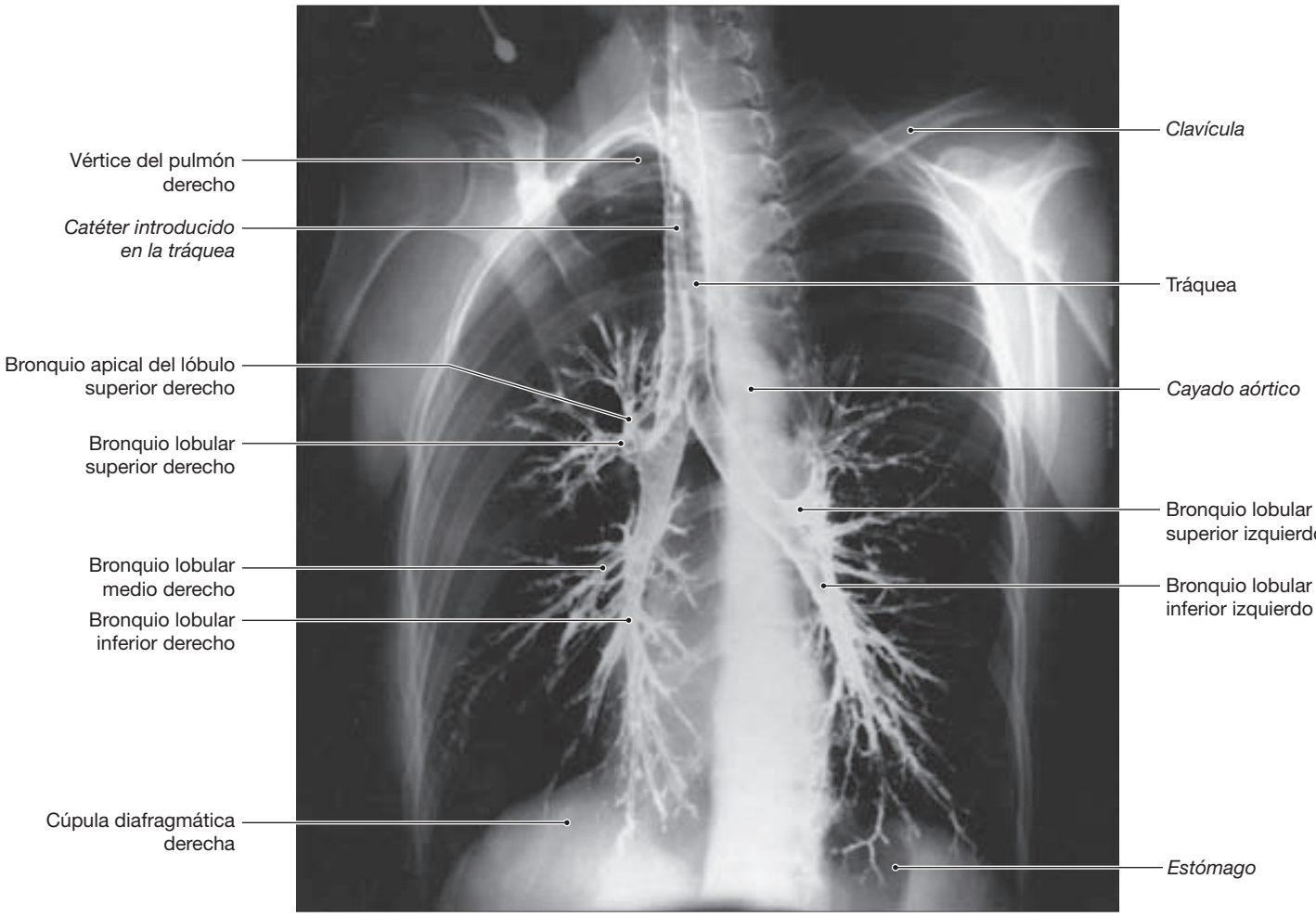


(a) Divisiones bronquiales y segmentos broncopulmonares

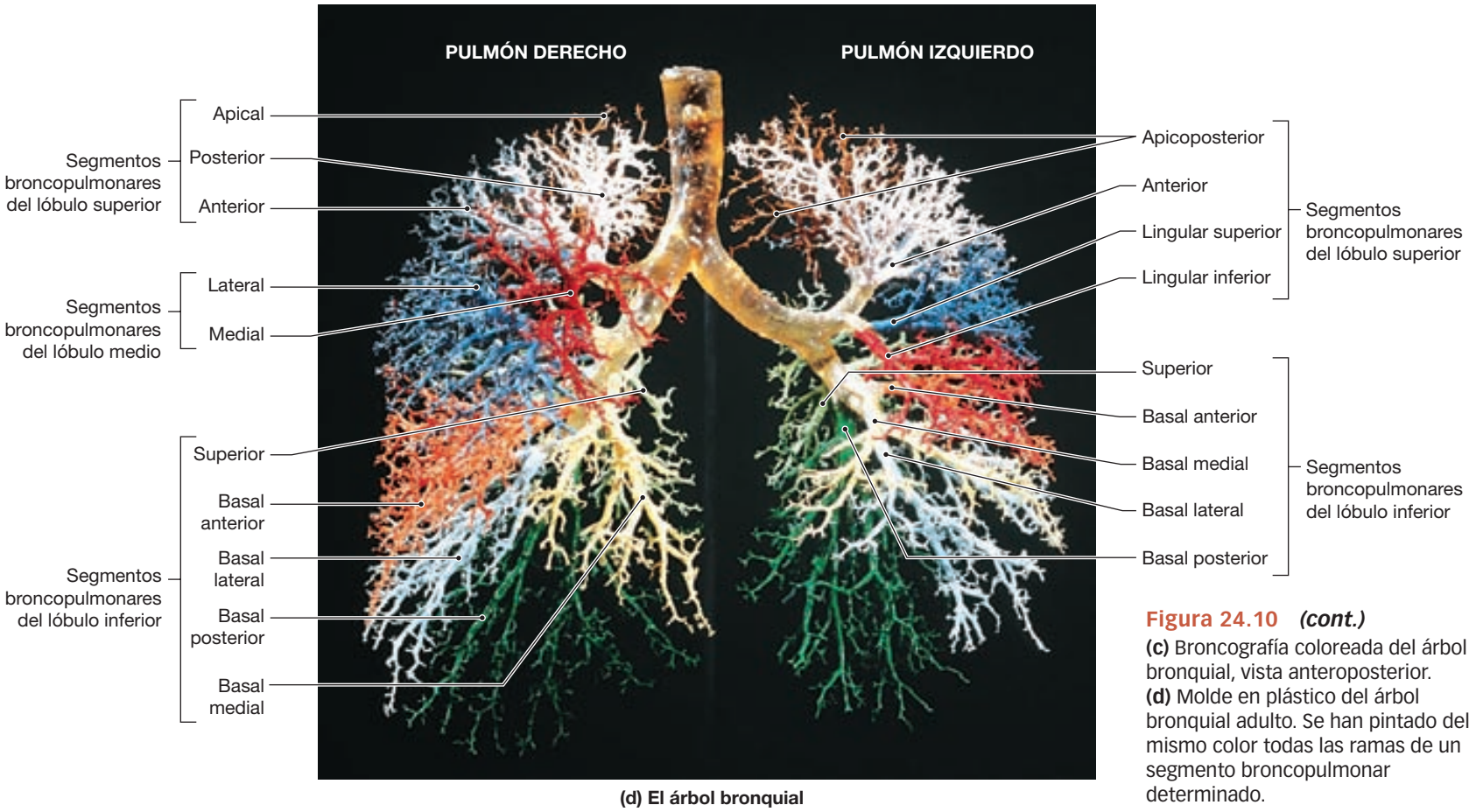
(b) Segmentos broncopulmonares de los pulmones izquierdo y derecho

Figura 24.10 Arbol bronquial y divisiones de los pulmones

(a) Anatomía macroscópica de los pulmones; se pueden ver el árbol bronquial y sus divisiones. **(b)** Se han aislado y coloreado los pulmones izquierdo y derecho para mostrar la distribución de los segmentos broncopulmonares.



(c) Broncograma



(d) El árbol bronquial

Figura 24.10 ***(cont.)***
(c) Broncografía coloreada del árbol bronquial, vista anteroposterior. **(d)** Molde en plástico del árbol bronquial adulto. Se han pintado del mismo color todas las ramas de un segmento broncopulmonar determinado.

Nota clínica

EPOC: asma, bronquitis y enfisema La *enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)* es un trastorno progresivo de las vías respiratorias que restringe el flujo de aire y reduce la ventilación alveolar. Las personas con EPOC pueden desarrollar tres patrones de síntomas. *Asma*, o *bronquitis asmática*, es la denominación que suele utilizarse cuando los síntomas son agudos e intermitentes. Los términos *bronquitis* y *enfisema* se emplean cuando los síntomas son crónicos y progresan lentamente hacia un estadio agudo. Sin embargo, debido al solapamiento de los síntomas y las causas de estos trastornos, en la práctica clínica se utiliza el nombre EPOC para referirse a los tres trastornos.

El **asma** afecta aproximadamente al 3%-11% de la población norteamericana. Unas vías respiratorias excesivamente sensibles e irritables responden a los irritantes constriñéndose y produciendo lo que se conoce como *broncoespasmo*. En muchos casos, el factor desencadenante parece ser una reacción de hipersensibilidad inmediata a un alérgeno presente en el aire inspirado. Las reacciones farmacológicas, la contaminación aérea, las infecciones respiratorias crónicas, el ejercicio y el estrés emocional pueden inducir también ataques de asma en las personas sensibles.

Los síntomas más aparentes y potencialmente peligrosos son: 1) la constricción de los músculos lisos de todo el árbol bronquial; 2) el edema y la tumefacción de la mucosa de las vías respiratorias, y 3) la producción acelerada de moco. La combinación de todos ellos dificulta considerablemente la respiración, afectando más a la espiración que a la inspiración; a menudo, las vías respiratorias estrechadas se colapsan antes de completar la espiración. Aunque aumenta la producción de moco, su transporte es más lento y los líquidos se acumulan en las vías respiratorias, provocando tos y sibilancias. La broncoconstricción y la producción de moco aparecen al cabo de pocos minutos, en respuesta a la liberación de histamina y prostaglandinas por los mastocitos. Al cabo de varias horas, los neutrófilos y eosinófilos migran hacia la zona, que se inflama, reduciendo aún más el flujo de aire y dañando los tejidos respiratorios. Un ataque grave puede mermar la capacidad funcional del aparato respiratorio. Los tejidos periféricos no reciben oxígeno, una circunstancia que puede llegar a causar la muerte del paciente. En EE. UU. el asma provoca aproximadamente cuatro muertes por cada millón de personas de 5-34 años de edad. La mortalidad entre los afroamericanos asmáticos es dos veces mayor que entre los norteamericanos de origen caucasiano.

El tratamiento del asma consiste en la dilatación de las vías respiratorias mediante la administración de **broncodilatadores** (fármacos que relajan el músculo liso bronquial) y la reducción de la inflamación y la hinchazón de la mucosa respiratoria con antiinflamatorios. Entre los broncodilatadores más importantes cabe citar *teofilina, adrenalina, albuterol* y otros betaadrenérgicos. Aunque los betaadrenérgicos más potentes son bastante útiles en las crisis asmáticas, sólo resultan eficaces durante períodos muy breves y su uso excesivo puede limitar su eficacia.

La **bronquitis** es una inflamación e hinchazón de la mucosa bronquial que da lugar a una producción excesiva de secreciones mucosas. El síntoma más característico es la tos frecuente, con abundante producción de esputo. Se calcula que el 20% de los varones adultos padece bronquitis crónica, un trastorno debido en la mayoría de los casos al tabaquismo, pero que también puede guardar relación con otros irritantes ambientales. Con el paso del tiempo, el aumento de la secreción mucosa puede bloquear las vías respiratorias de menor calibre y reducir el intercambio aéreo y la eficacia respiratoria. Son frecuentes las infecciones bacterianas crónicas, que provocan daños pulmonares adicionales. El tratamiento consiste en el abandono del tabaquismo y la administración de broncodilatadores, antibióticos y oxígeno suplementario, si es necesario.

El **enfisema** es un trastorno progresivo crónico que se caracteriza por la falta de aliento y la poca tolerancia al esfuerzo físico. El problema subyacente consiste en una destrucción de las superficies de intercambio respiratorio; se produce una supresión funcional de los bronquíolos respiratorios y los alvéolos. Los alvéolos se van a expandiendo gradualmente y los capilares sufren un deterioro progresivo, lo que da lugar a la formación en los pulmones de grandes cavidades disfuncionales, en las que el intercambio gaseoso es muy reducido o incluso nulo.

Desgraciadamente, la pérdida de alvéolos y bronquíolos a causa del enfisema es irreversible. Se puede limitar su progresión abandonando el tabaco. El único tratamiento eficaz en los casos más graves consiste en la administración de oxígeno suplementario. Algunos pacientes pueden beneficiarse de los trasplantes de pulmón y de la resección quirúrgica del tejido pulmonar disfuncional.

Se pueden observar dos patrones clínicos de enfermedad avanzada. Las personas con enfisema suelen mantener una presión arterial casi normal. Sus músculos respiratorios trabajan intensamente, y estas personas consumen mucha energía sólo para respirar. Debido a ello, suelen ser muy delgados. Dado que su oxigenación sanguínea es prácticamente normal, los caucasianos afectados por este trastorno tienen la piel sonrosada. Debido a la combinación de la respiración forzada y la coloración sonrosada, se utiliza el término *sopladores sonrosados* para referirse a las personas afectadas por este trastorno. Las personas con bronquitis crónica pueden desarrollar síntomas de insuficiencia cardíaca, incluyendo un edema generalizado. Tienen una oxigenación sanguínea muy baja y su piel puede adquirir un color azulado. La combinación del edema generalizado y la coloración azulada explica el término descriptivo de *abotargados azules* que se utiliza para referirse a las personas que sufren este trastorno.

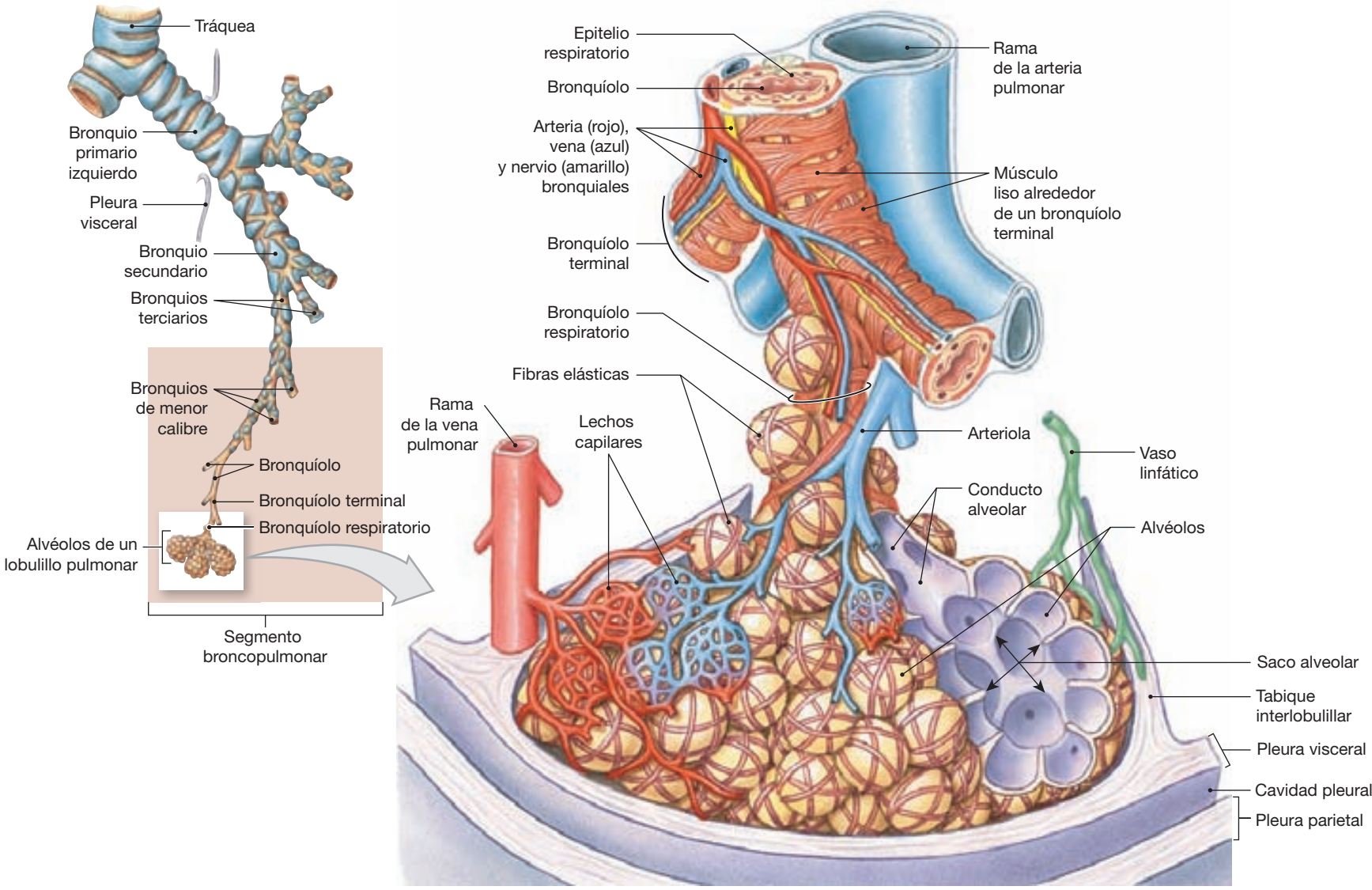
nervioso autónomo regula la actividad del estrato muscular liso de los bronquíolos terminales y, de ese modo, controla el diámetro de los mismos. La activación simpática y la adrenalina liberada por la médula suprarrenal dilatan las vías respiratorias, es decir, inducen **broncodilatación.** La estimulación parasimpática induce **broncoconstricción.** Estos cambios alteran la resistencia al flujo de aire que entra o sale de las superficies de intercambio respiratorio. A menudo, la tensión de los músculos lisos frunce la mucosa bronquiolar en una serie de pliegues y una estimulación excesiva (como sucede en el *asma*) puede impedir casi completamente el flujo del aire a través de los bronquíolos terminales.

Cada bronquíolo terminal aporta aire a un solo lobulillo pulmonar. En el lobulillo, el bronquíolo terminal se ramifica formando varios **bronquíolos respiratorios,** que constituyen las ramas más finas y delicadas del árbol bronquial y conducen el aire hasta las superficies de intercambio de los pulmones. Antes de que el aire salga de los bronquíolos terminales se completan la filtración y humidificación preliminares del aire inspirado. El epitelio de los bronquíolos respiratorios y de los bronquíolos terminales de menor calibre está formado por células cúbicas. Los cilios son muy escasos y no se observan células mucosas ni glándulas mucosas subyacentes.

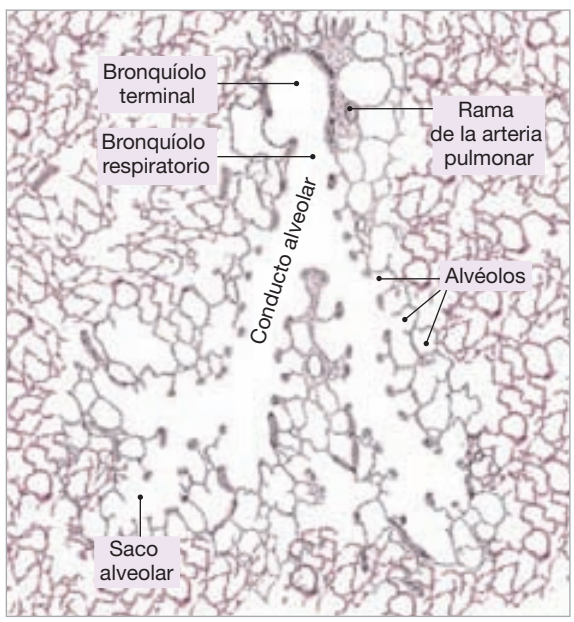
Conductos alveolares y alvéolos

[v. figuras 24.11/24.12]

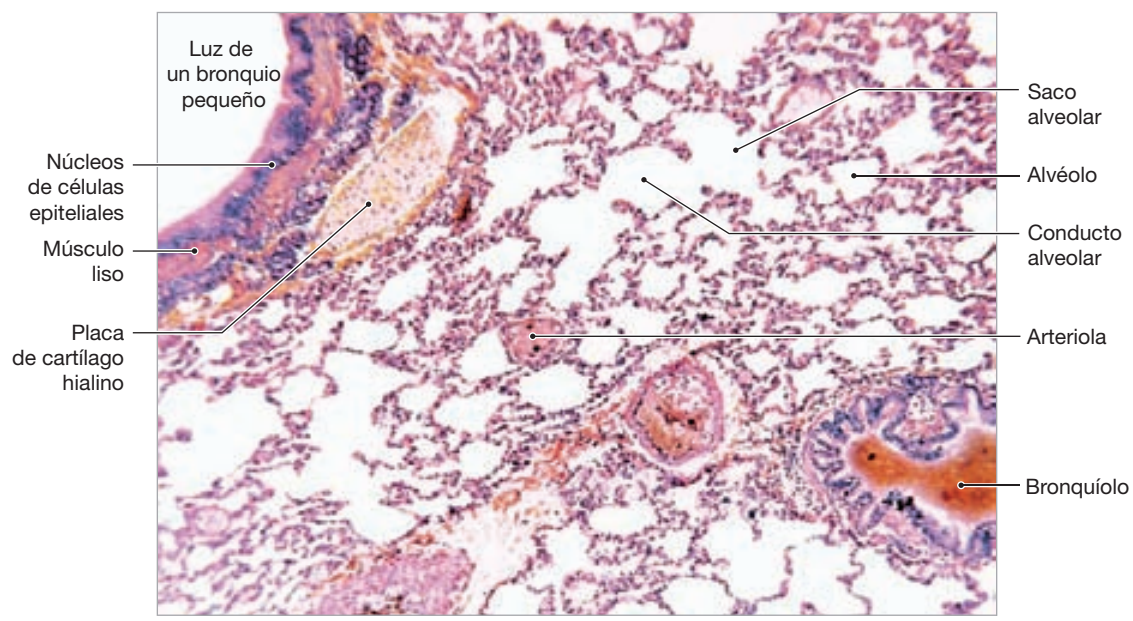
Los bronquíolos respiratorios están conectados a alvéolos individuales y a alvéolos múltiples en regiones denominadas **conductos alveolares.** Estos conductos terminan en los **sacos alveolares,** unas cámaras comunes conectadas a varios alvéolos individuales (**v. figuras 24.11** y **24.12a-c**). Cada pulmón contiene aproximadamente 150 millones de alvéolos, lo que da al pulmón un aspecto



(a) Componentes de un lobulillo pulmonar



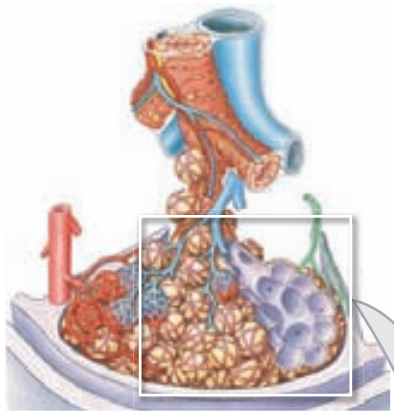
(b) Histología del pulmón



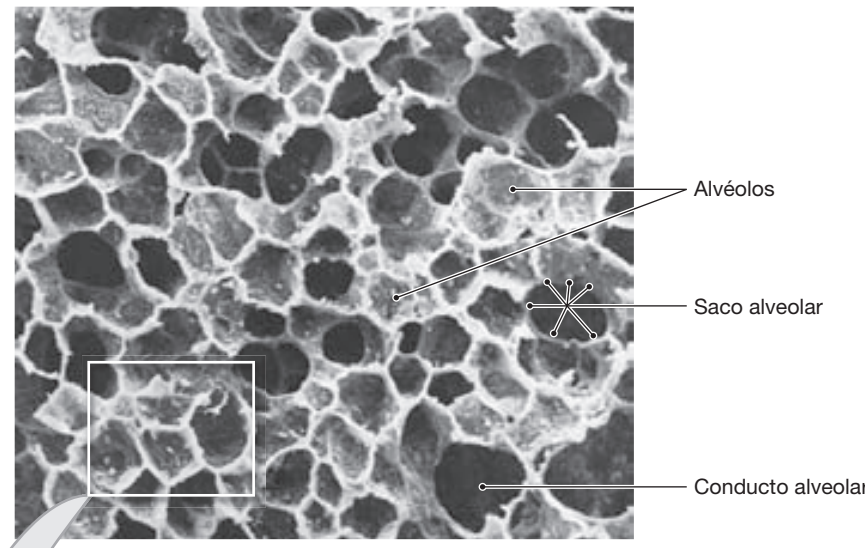
(c) Histología del pulmón MO × 62

Figura 24.11 Bronquios y bronquíolos
(a) Estructura de una parte de un lobulillo aislado. **(b)** y **(c)** Cortes histológicos del pulmón.

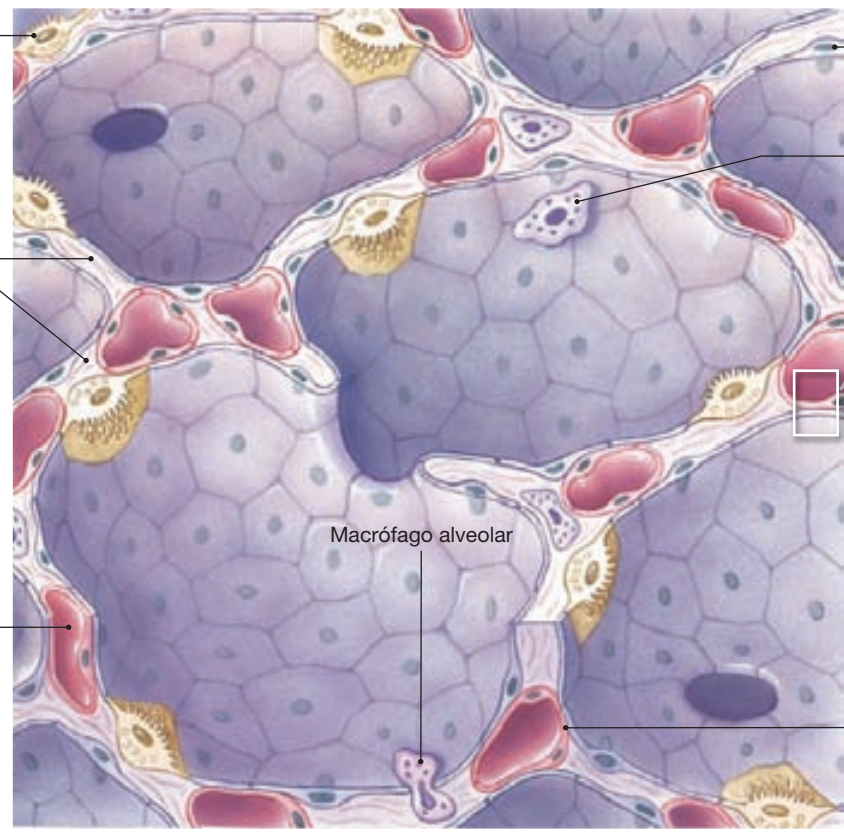
Figura 24.12 Organización alveolar
(a) Estructura básica de un lobulillo, seccionado para mostrar la organización de los conductos alveolares y los alvéolos. Cada alvéolo está rodeado por una red de capilares. Estos capilares están rodeados a su vez por fibras elásticas. **(b)** Imagen del tejido pulmonar al microscopio electrónico de barrido (MEB); se pueden ver el aspecto y la organización de los alvéolos. **(c)** Corte esquemático de la estructura alveolar y la membrana respiratoria. **(d)** Membrana respiratoria.



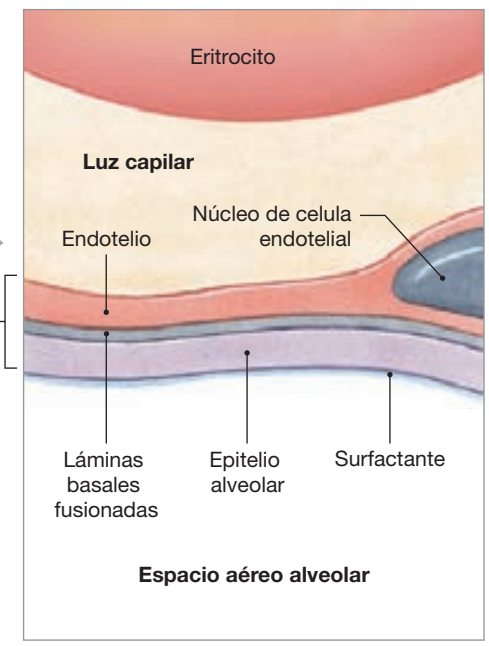
(a) Organización alveolar



(b) Alvéolos pulmonares al MEB



(c) Alvéolos, sección



(d) Membrana respiratoria

esponjoso y abierto. Cada alvéolo se acompaña de una red de capilares muy extensa (v. figura 24.12c); los capilares están rodeados por una red de fibras elásticas. Este tejido elástico ayuda a mantener las posiciones relativas de los alvéolos y los bronquíolos respiratorios. La retracción de estas fibras durante la espiración reduce el tamaño de los alvéolos y colabora en el proceso de la espiración.

Alvéolo y membrana respiratoria [v. figura 24.12c,d]

El epitelio alveolar es fundamentalmente un epitelio escamoso simple (v. figura 24.12c). Las células de este epitelio escamoso, denominadas **neumocitos de tipo I,** o *células alveolares de tipo I,* son extraordinariamente delgadas y delicadas. Entre las células escamosas se encuentran dispersos los **neumocitos de tipo II,** o *células alveolares de tipo II*. Estas células son muy grandes y producen una secreción oleosa que contiene una mezcla de fosfolípidos. Esta secreción, conocida como **surfactante,** recubre la superficie interna de los alvéolos y reduce la tensión superficial del líquido que cubre la superficie alveolar. Sin el surfactante, los alvéolos se colapsarían. Algunos **macrófagos alveolares** *(células del polvo)* rondan patrullando el epitelio y fagocitando las partículas que eluden las defensas respiratorias y llegan hasta las superficies alveolares.

El intercambio de gases se produce en unas zonas en las que se han fusionado las láminas basales del epitelio alveolar y de los capilares vecinos (v. figura 24.12d). En esas zonas, la distancia total que separa el aparato respiratorio y el sistema circulatorio puede reducirse a 0,1 μm. El proceso de difusión a través de esta **membrana respiratoria** es muy rápido debido a que: 1) la distancia es pequeña, y 2) los gases son liposolubles. Las membranas de las células epiteliales y endoteliales no impiden el movimiento del oxígeno y el anhídrido carbónico entre la sangre y los espacios aéreos alveolares.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Por qué los fumadores crónicos desarrollan «tos de fumador» seca?
2. La bronquitis crónica implica la producción excesiva de moco. ¿Cómo puede influir esto en la respiración con el paso del tiempo?
3. ¿Por qué casi no hay cilios y no existen células mucosas ni glándulas mucosas en los bronquíolos respiratorios?
4. ¿Cuál es la función que cumple el surfactante que producen las células alveolares?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Cáncer de pulmón El cáncer de pulmón representa actualmente el 13% de los nuevos casos de cáncer y produce el 28% de las muertes por cáncer, con lo que este trastorno representa la principal causa de muerte por cáncer entre la población estadounidense. El cáncer de pulmón mata a más personas que las neoplasias de colon, de mama y de próstata combinadas. A pesar de los avances en el tratamiento de otras formas de cáncer, las estadísticas de supervivencia del cáncer de pulmón no han variado de forma significativa.

Los datos estadísticos y experimentales demuestran que *el 85%-90% de todas las neoplasias de pulmón son el resultado directo del consumo de cigarrillos*. La incidencia del cáncer de pulmón entre los no fumadores es de 3,4 casos por cada 100.000 habitantes, mientras que en los fumadores oscila entre 59,3 casos por cada 100.000 habitantes entre los que fuman de medio paquete a un paquete diario, y 217,3 casos por cada 100.000 habitantes entre aquellos que fuman de uno a dos paquetes diarios. Antes de 1970, esta enfermedad afectaba fundamentalmente a varones de mediana edad, pero al aumentar el número de fumadoras (una tendencia que empezó en los años cuarenta) también ha aumentado el número de mujeres que mueren por cáncer de pulmón.

El tabaco altera la calidad del aire inspirado, que es más seco y está contaminado por diferentes partículas y compuestos cancerígenos. Esta combinación sobrecarga las defensas respiratorias y daña las células epiteliales de todo el aparato respiratorio. El riesgo de desarrollar cáncer de pulmón depende de la exposición total acumulada a los cancerígenos. Cuantos más cigarrillos se fuman, mayor es el riesgo, tanto si es durante un período de varias semanas como de algunos años. Antes de que se formen los tumores, los cambios fisiológicos inducidos por el tabaco son reversibles; se puede recuperar el epitelio normal si se suprimen las sustancias cancerígenas. Al mismo tiempo, el riesgo estadístico disminuye a valores bastante inferiores. Diez años después de dejar de fumar, un antiguo fumador tiene sólo un 10% más de probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón que una persona que no fume.

No debe sorprendernos que el tabaquismo provoque típicamente cáncer si consideramos las sustancias químicas tóxicas que contiene el humo del tabaco. Lo que si resulta sorprendente es que no haya más fumadores que desarrollen cáncer de pulmón. Las pruebas disponibles parecen indicar que algunos fumadores tienen una predisposición genética a desarrollar una forma de cáncer pulmón.

Vascularización de los pulmones [v. figura 24.11a]

Las superficies de intercambio respiratorio reciben sangre de arterias del circuito pulmonar. Las arterias pulmonares acceden a los pulmones por el hilio y se ramifican con los bronquios al aproximarse a los lobulillos. Cada lobulillo recibe una arteriola y una vénula, y cada alvéolo está rodeado por una red de capilares que discurren directamente por debajo de la membrana respiratoria. Además de permitir el intercambio gaseoso, los capilares alveolares son la principal fuente de *enzima conversora de angiotensina*, que convierte la angiotensina I circulante en angiotensina II, una hormona que interviene en la regulación de la volemia y la presión arterial [p. 518].

La sangre procedente de los capilares alveolares pasa a las vénulas pulmonares y accede posteriormente a las venas pulmonares, que la devuelven a la aurícula izquierda. Los segmentos conductores de las vías respiratorias reciben sangre de las *arterias carótidas externas* (conductos nasales y laringe), del *tronco tirocervical* (ramas de las arterias subclavias que irrigan la laringe inferior y la tráquea) y de las *arterias bronquiales* (v. figura 24.11a). Los capilares que proceden de las arterias bronquiales aportan oxígeno y nutrientes a las vías conductoras de los pulmones. La sangre venosa fluye hacia las venas pulmonares, evitando el resto del circuito sistémico y diluyendo la sangre oxigenada que sale de los alvéolos.

Cavidades y membranas pleurales [v. figuras 24.8a/24.13]

La cavidad torácica tiene la forma de un cono ancho. La jaula costal forma sus paredes y el diafragma muscular forma el suelo. Las dos *cavidades pleurales* están separadas por el mediastino (v. figuras 24.8a y 24.13). Cada pulmón ocupa una cavidad pleural, que está tapizada por una membrana serosa, o **pleura.** La membrana pleural consta de dos capas continuas. La **pleura parietal** cubre la superficie interna de la pared torácica y se extiende sobre el diafragma y el mediastino. La **pleura visceral** recubre la superficie externa de los pulmones, penetrando en las fisuras interlobulares. El espacio que existe entre las pleuras parietal y visceral recibe el nombre de **cavidad pleural.** En realidad, cada cavidad pleural representa más un espacio virtual que una cámara abierta, ya que las capas parietal y visceral están en contacto. Ambas membranas pleurales secretan una pequeña cantidad de **líquido pleural.** El líquido pleural cubre las superficies opuestas, y este revestimiento húmedo y resbaladizo reduce la fricción entre las superficies parietal y visceral durante la respiración.

La inflamación de las pleuras, o **pleuresía,** puede hacer que las membranas produzcan y secreten cantidades excesivas de líquido pleural; las pleuras inflamadas también pueden adherirse entre sí, limitando su movilidad relativa. En ambos casos, el paciente tiene problemas para respirar y necesita asistencia médica inmediata.

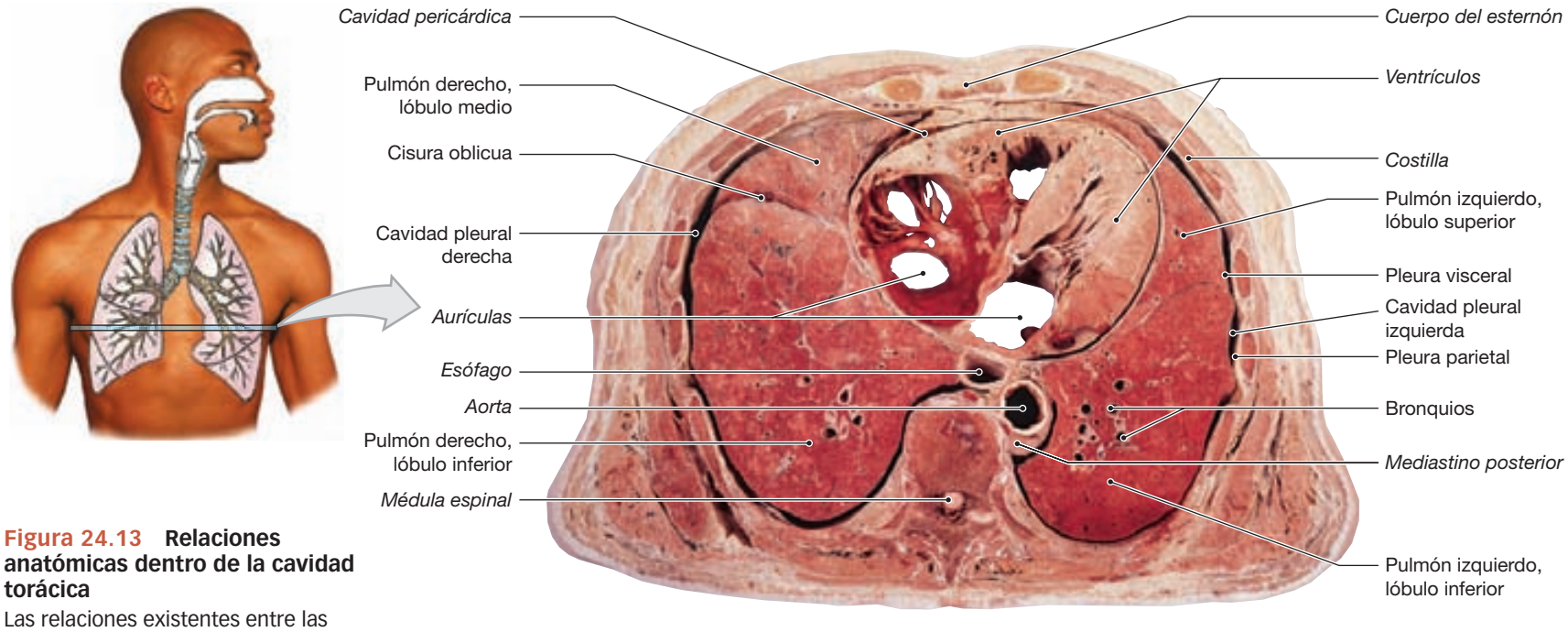


Figura 24.13 Relaciones anatómicas dentro de la cavidad torácica
Las relaciones existentes entre las estructuras torácicas se aprecian mejor en un corte horizontal. Esta es una vista inferior correspondiente a un corte realizado a nivel de D_8.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si una embolia pulmonar afecta a un vaso pulmonar importante, ¿cómo puede este suceso producir insuficiencia cardíaca?
2. ¿Cuál es la función que cumple el líquido pleural?
3. ¿Qué vasos irrigan los segmentos conductores de las vías respiratorias?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Músculos respiratorios y ventilación pulmonar

La **ventilación pulmonar,** o respiración, consiste en el movimiento físico de entrada y salida de aire del árbol bronquial. La ventilación pulmonar tiene la función de mantener una *ventilación alveolar* (entrada y salida de aire de los alvéolos) adecuada. La ventilación alveolar impide que se acumule el anhídrido carbónico en los alvéolos y garantiza un aporte ininterrumpido de oxígeno proporcional al ritmo de absorción de la circulación sanguínea.

Músculos respiratorios [v. figura 24.14]

En los capítulos 10 y 11 se describían los músculos estriados que participan en los movimientos respiratorios [p. 582]. Los más importantes son el **diafragma** y los **músculos intercostales externos** e **internos.** El diafragma se tensa y se aplana al contraerse, lo que incrementa el volumen de la cavidad torácica. Cuando se relaja, el diafragma se arquea hacia arriba y reduce el volumen de la cavidad torácica. El aire entra en los pulmones cuando aumenta el volumen de la cavidad torácica, y sale cuando el volumen disminuye. Los músculos intercostales externos pueden ayudar durante la inspiración elevando las costillas. Al ascender, las costillas basculan anteriormente e incrementan la anchura de la jaula torácica en sentido anteroposterior. Los músculos intercostales internos deprimen las costillas y reducen la anchura de la cavidad torácica, contribuyendo de ese modo a la espiración. En la **figura 24.14** se representan estos músculos y sus acciones.

Nota clínica

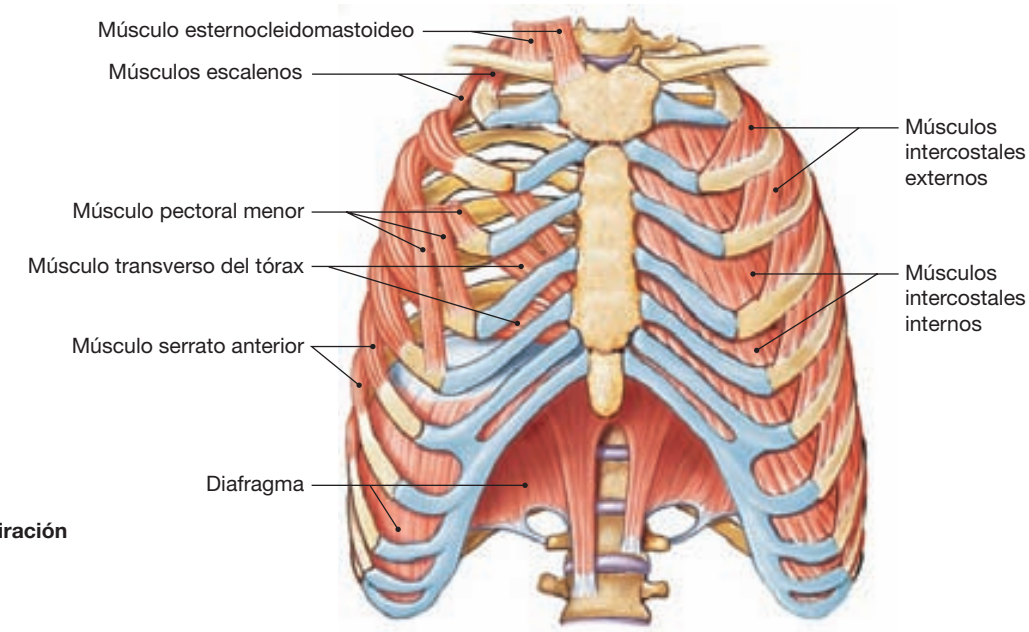
Síndrome de dificultad respiratoria (SDR) Los neumocitos de tipo II situados entre las células que revisten los alvéolos empiezan a producir surfactante al término del sexto mes de vida fetal. Hacia el octavo mes, la producción de surfactante ha alcanzado los niveles necesarios para una permitir una función respiratoria normal. El **síndrome de dificultad respiratoria neonatal (SDRN),** también conocido como *enfermedad de la membrana hialina (EMH),* aparece cuando la producción de surfactante no alcanza los valores normales. Aunque existen algunas formas hereditarias de EMH, en la mayoría de los casos este trastorno guarda relación con el parto prematuro.

En ausencia de surfactante, los alvéolos tienden a colapsarse durante la espiración. Aunque las vías respiratorias permanecen abiertas, el neonato tiene que inspirar con más fuerza para volver a abrir los alvéolos durante la siguiente respiración. De hecho, cada respiración debe ser casi tan intensa como la primera, por lo que el lactante se agota rápidamente. Los movimientos respiratorios son cada vez más débiles; finalmente, los alvéolos dejan de expandirse y cesa el intercambio gaseoso.

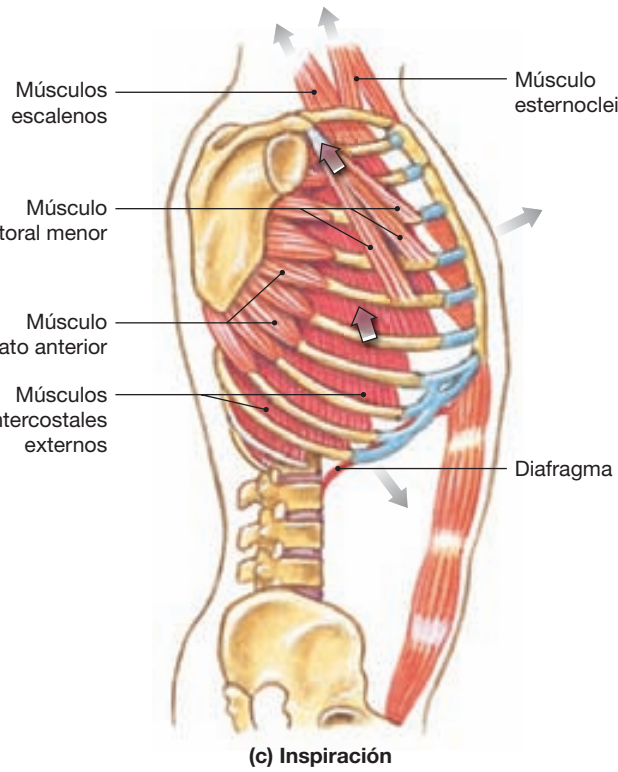
Una forma de tratamiento consiste en ayudar al lactante administrándole aire a presión para mantener abiertos sus alvéolos. Este método, conocido como **presión espiratoria terminal positiva (PEEP),** permite mantener vivo al neonato hasta que la producción de surfactante alcanza unos niveles normales. La administración de surfactante en forma de vapor muy fino de gotitas de surfactante a través de la tráquea a partir del primer día de vida ha permitido reducir la mortalidad del SDRN del 100% a menos del 10%.

Los adultos pueden desarrollar también anomalías en el surfactante como consecuencia de infecciones respiratorias o lesiones pulmonares graves. Se produce un colapso alveolar que da lugar a un trastorno conocido como síndrome de **dificultad respiratoria del adulto (SDRA).** La PEEP permite mantener al paciente con vida hasta que se puede corregir el problema subyacente, aunque por lo menos el 50%-60% de las personas con SDRA mueren finalmente.

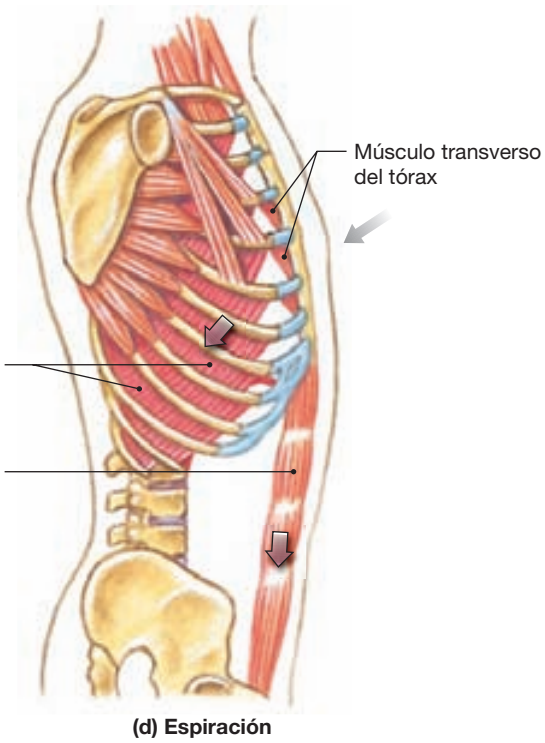
(a) Cambios volumétricos durante la inspiración



(b) Los músculos primarios y accesorios de la respiración



(c) Inspiración


Músculo transverso del tórax
Músculos intercostales internos
Músculo recto anterior del abdomen y otros músculos abdominales (no mostrados)

(d) Espiración

Figura 24.14 Músculos respiratorios
(a) Cuando ascienden las costillas o desciende el diafragma, aumenta el volumen de la cavidad torácica y el aire entra en los pulmones. El movimiento hacia fuera que describen las costillas al ascender se parece al balanceo externo del asa de un cubo. **(b)** Vista anterior en reposo, sin movimiento de aire. **(c) Inspiración,** se pueden ver los músculos respiratorios primarios y accesorios que elevan las costillas y aplanan el diafragma. **(d) Espiración,** se pueden ver los músculos respiratorios primarios y accesorios que deprimen las costillas y elevan el diafragma.

Los **músculos respiratorios accesorios** empiezan a funcionar cuando es necesario incrementar considerablemente la profundidad y la frecuencia de la respiración. Los músculos esternocleidomastoideo, serrato anterior, pectoral menor y escaleno ayudan a los músculos intercostales externos a elevar las costillas y a inspirar. Los músculos transverso del tórax, oblicuo mayor del abdomen y recto anterior mayor del abdomen ayudan a los músculos intercostales internos durante la espiración, comprimiendo el contenido abdominal, elevando el diafragma y reduciendo aún más el volumen de la cavidad torácica.

Movimientos respiratorios

Los músculos respiratorios pueden combinarse de diferentes formas, dependiendo del volumen de aire que deba entrar o salir de los pulmones. Los movimientos respiratorios pueden clasificarse como *eupneicos* o *hiperpneicos*, dependiendo de que la respiración sea pasiva o activa.

Eupnea En la **eupnea,** o **respiración tranquila,** la inspiración depende de una serie de contracciones musculares, pero la espiración es un proceso pasivo.

Durante la respiración tranquila, la expansión de los pulmones distiende las fibras elásticas pulmonares. Además, el ascenso de la jaula costal distiende los músculos estriados opuestos y las fibras elásticas del tejido conjuntivo de las paredes del organismo. Cuando los músculos inspiratorios se relajan, estas estructuras elásticas se contraen, devolviendo el diafragma o la jaula costal (o ambos) a sus posiciones originales.

La eupnea puede implicar la *respiración diafragmática* o la *respiración costal*.

- Durante la **respiración diafragmática,** o **respiración profunda,** el diafragma se contrae y modifica el volumen torácico. Al contraerse el diafragma el aire entra en los pulmones, y al relajarse se produce la espiración.
- Durante la **respiración costal,** o **respiración superficial,** el volumen torácico varía debido a que la jaula costal cambia de forma. El aire entra en los pulmones cuando la contracción de los músculos intercostales externos eleva las costillas y ensancha la cavidad torácica. Y sale de los pulmones cuando esos músculos se relajan. Durante la gestación, las mujeres dependen cada vez más de la respiración costal debido a que el útero aumenta de tamaño y empuja las vísceras abdominales contra el diafragma.

Hiperpnea La **hiperpnea,** o **respiración forzada,** implica una serie de movimientos inspiratorios y espiratorios activos. Para la respiración forzada se recurre a los músculos accesorios para que ayuden durante la inspiración, y a los músculos transverso del tórax e intercostales internos para que ayuden durante la espiración. Cuando una persona respira al máximo absoluto (p. ej., durante el ejercicio intenso), utiliza los músculos abdominales para espirar. Su contracción comprime el contenido abdominal, empujándolo contra el diafragma y reduciendo aún más el volumen de la cavidad torácica.

Cambios en la respiración tras el nacimiento

Existen algunas diferencias importantes entre los aparatos respiratorios de un feto y de un neonato. Antes del parto, la resistencia arterial pulmonar es muy elevada debido a que los vasos pulmonares están colapsados. La jaula torácica está comprimida, y los pulmones y las vías respiratorias contienen sólo pequeñas cantidades de líquido, pero no aire. Al nacer, el neonato realiza una primera inspiración verdaderamente heroica contrayendo fuertemente el diafragma y los músculos intercostales externos. El aire inspirado penetra en las vías respiratorias con fuerza suficiente para apartar de su camino los líquidos presentes e inflar todo el árbol bronquial y la mayoría de los alvéolos. El mismo descenso de presión que hace entrar el aire en los pulmones impulsa la sangre hacia la circulación pulmonar; los cambios que se producen en el flujo sanguíneo inducen el cierre del *agujero oval,* la comunicación interauricular embrionaria, y del *conducto arterioso,* la conexión fetal entre el tronco pulmonar y la aorta [p. 601].

La espiración que se produce a continuación no consigue vaciar totalmente los pulmones, ya que la jaula costal no recupera su estado precedente de compresión total. Los cartílagos y el tejido conjuntivo mantienen abiertas las vías respiratorias, y el surfactante que cubre las superficies alveolares impide su colapso. Las respiraciones posteriores completan la insuflación de los alvéolos.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. John se ha roto una costilla que le ha perforado la cavidad torácica por el lado derecho. ¿Qué estructuras pueden resultar dañadas, y qué consecuencias cree que puede sufrir el pulmón?
2. En el enfisema, los alvéolos son reemplazados por grandes espacios de aire y tejido conjuntivo fibroso elástico. ¿Cómo afectan estos cambios a los pulmones?
3. Resuma los cambios que experimentan los aparatos respiratorio y cardiovascular de un neonato cuando empieza a respirar.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Centros respiratorios del encéfalo [v. figura 24.15]

En condiciones normales, las células absorben oxígeno y producen anhídrido carbónico al mismo ritmo que los capilares aportan y retiran estas sustancias. Cuando los aparatos cardiovascular y respiratorio tienen que efectuar ajustes para adaptarse a las necesidades siempre cambiantes de oxígeno del organismo, es necesario que estos aparatos se coordinen. Los centros reguladores que integran las respuestas de estos aparatos se localizan en la protuberancia y en el bulbo raquídeo.

Los **centros respiratorios** son tres pares de núcleos más o menos organizados dentro de la formación reticular de la protuberancia y el bulbo (**v. figura 24.15**). Estos núcleos regulan la actividad de los músculos respiratorios ajustando la frecuencia y la profundidad de la ventilación pulmonar.

El **centro del ritmo respiratorio** establece el ritmo básico y la profundidad de la respiración. Puede subdividirse en un **grupo respiratorio dorsal (GRD)** y un **grupo respiratorio ventral (GRV).** El grupo dorsal, o *centro ins-*

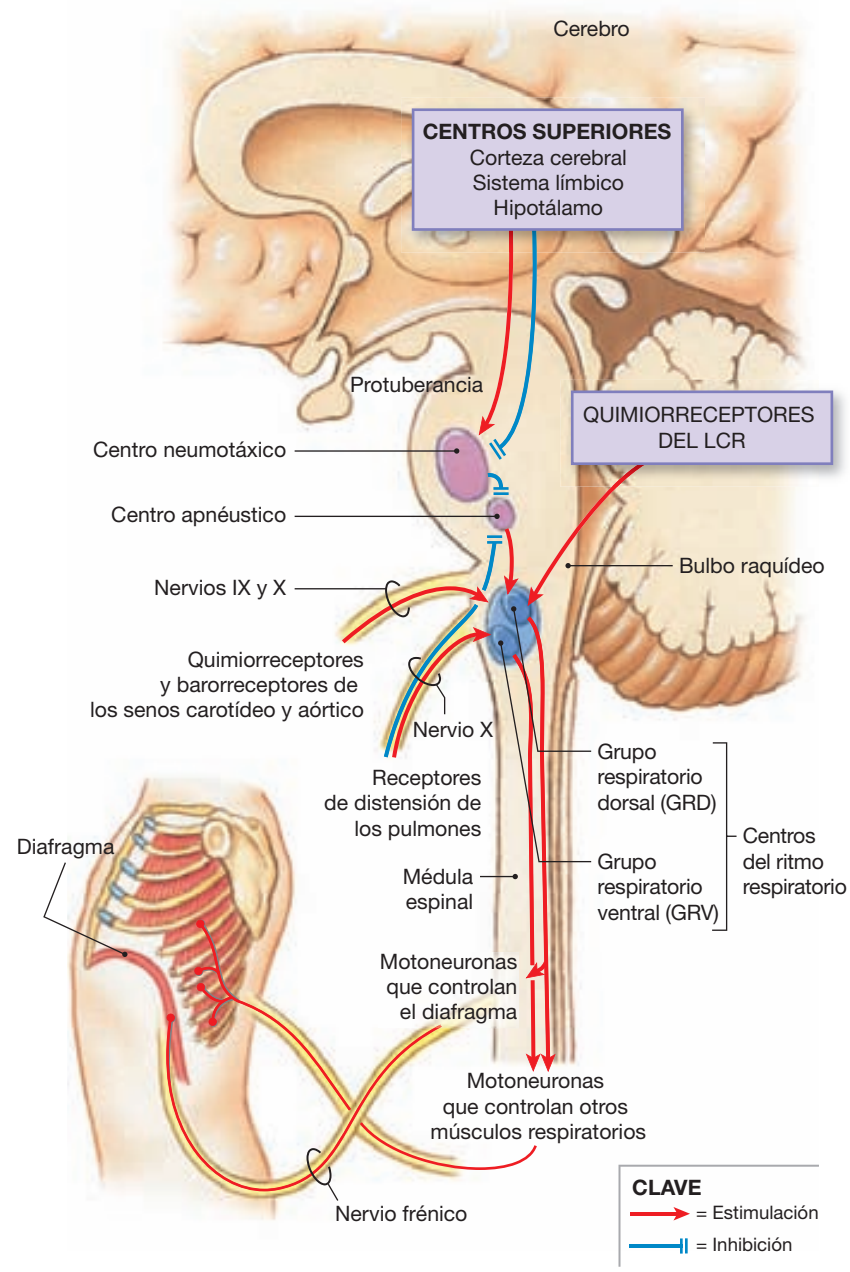


Figura 24.15 Centros respiratorios y control de reflejos
Posición y relaciones entre los principales centros respiratorios y otros factores importantes para el control de la respiración. No se indican las vías de control consciente sobre los músculos respiratorios.

piratorio, controla las motoneuronas que inervan los músculos intercostales externos y el diafragma. Este grupo interviene en todos los ciclos de la respiración, ya sea tranquila o forzada. El grupo ventral funciona sólo durante la respiración forzada. Inerva las motoneuronas que controlan los músculos accesorios que intervienen en la espiración activa y la inspiración máxima. A veces se dice que las neuronas que intervienen en la espiración activa forman el *centro espiratorio.*

Los **centros apnéustico** y **neumotáxico** de la protuberancia son dos pares de núcleos que regulan la salida del centro del ritmo, modificando de ese modo la ritmo respiratorio. Su actividad regula el ritmo y la profundidad de la respiración en respuesta a estímulos sensoriales o a las instrucciones de los centros superiores. En la **figura 24.15** se muestran las posiciones de los núcleos apnéustico, neumotáxico y del ritmo respiratorio.

La respiración normal es un proceso automático que carece de un control consciente. En la regulación de la respiración intervienen tres reflejos diferentes: 1) los *reflejos mecanorreceptores,* que responden a las variaciones en el volumen de los pulmones o en la presión arterial; 2) los *reflejos quimiorreceptores,* que responden a las fluctuaciones en la P_{CO_2}, el pH y la P_{O_2} de la sangre y el líquido cefalorraquídeo, y 3) los *reflejos protectores,* que responden a la agresión o la irritación física de las vías respiratorias.

Los centros superiores influyen en la respiración enviando señales aferentes al centro neumotáxico y actuando directamente sobre los músculos respiratorios. Estos centros superiores se localizan en el cerebro, especialmente en la corteza cerebral, y en el hipotálamo. Aunque las aferencias piramidales mantienen un control consciente sobre los músculos respiratorios, estos músculos reciben generalmente instrucciones a través de las vías extrapiramidales. Además, los centros respiratorios están sumergidos en la formación reticular, y casi todos los núcleos sensitivos y motores tienen alguna conexión con este complejo. Debido a ello, las actividades emocionales y neurovegetativas influyen a menudo en el ritmo y la profundidad de la respiración.

Envejecimiento y aparato respiratorio

En las personas mayores interactúan muchos factores que reducen la eficacia del aparato respiratorio. Merece la pena citar especialmente tres ejemplos:

1. Con la edad se deteriora el tejido elástico de todo el organismo. La principal repercusión sobre el aparato respiratorio es una reducción de la capacidad de los pulmones para inflarse y desinflarse.
2. Los cambios artrósicos de las articulaciones costales y la disminución de la flexibilidad de los cartílagos costales restringen los movimientos de la jaula torácica. Combinados con los cambios descritos en el apartado anterior, la rigidez y la reducción de la movilidad limitan claramente el volumen respiratorio. Esta restricción contribuye a la disminución en el rendimiento y la capacidad física con la edad.
3. Normalmente se observa cierto grado de enfisema en las personas de 50-70 años. Por término medio, cada año se pierde aproximadamente 0,1 m^2 de membrana respiratoria a partir de los treinta años. No obstante, esto varía considerablemente, dependiendo de la exposición al humo del tabaco y a otros irritantes respiratorios a lo largo de la vida.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato respiratorio, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Caso clínico

¿QUÉ RELACIÓN TIENE TODO ESTO, DOCTOR?

Dorothy es copropietaria, cocinera jefe y camarera de Dew Drop Inn, un pequeño establecimiento familiar situado en la autovía n.º 12, justo al oeste de SakPrairie, una pequeña población rural del suroeste de Wisconsin. Dorothy es conocida por poseer un restaurante-bar de tipo familiar en el que sirven las mejores hamburguesas al oeste del río Wisconsin.

Últimamente, Dorothy no se ha sentido como de costumbre. Se queja de dolores crónicos en el hombro, el brazo y la mano. Dorothy ha desarrollado también tos crónica, lo que le ha obligado a rebajar sus carreras por las orillas del río Wisconsin de 8-10 km a 5-7 km únicamente.

El jueves, a Dorothy le cuesta mucho correr. Es una mañana templada y ventosa, y su tos sigue molestándole. Al completar el recorrido, Dorothy observa que sólo le suda un lado de la cara. Posteriormente, mientras se maquilla, Dorothy nota que no puede abrir totalmente su ojo derecho. Dorothy le comenta esto a su marido John, y este le recomienda que pida cita para el médico de cabecera.

El lunes, Dorothy acude a su médico. La doctora muestra algún interés por la tos del Dorothy, pero se preocupa fundamentalmente por las otras quejas de su paciente.

Exploración inicial

La doctora anota lo siguiente:

- Dorothy tiene 35 años y está en unas condiciones físicas excelentes.
- La presión arterial es normal.
- El recuento hematológico es normal.
- Los ruidos torácicos son normales.
- Dorothy no tiene antecedentes de tabaquismo. No obstante, en la Dew Drop Inn hay una zona para fumadores que está siempre llena de clientes.
- Dorothy confirma que ha experimentado un dolor intenso en la región del hombro derecho que se irradia de la escápula hacia la axila y desciende por la cara interna del brazo y la mano.
- Cuando realiza la exploración, la doctora aprecia una cierta atrofia de los músculos de la superficie anteromedial del antebrazo derecho.
- Dorothy ha perdido sensibilidad epidérmica en los dedos anular y meñique de la mano derecha.
- La doctora detecta miosis de la pupila derecha.
- Dorothy tiene un reflejo cilioespinal negativo.
- Al reducir la intensidad de las luces de la sala de exploración, la pupila derecha se dilata más lentamente que la izquierda.
- La piel del lado derecho de la cara está bastante más seca que la del lado izquierdo.
- Al palpar los ganglios subclaviculares de ambos lados se observa un aumento de tamaño asimétrico de los ganglios linfáticos del lado derecho.

Casoc línico *(cont.)*

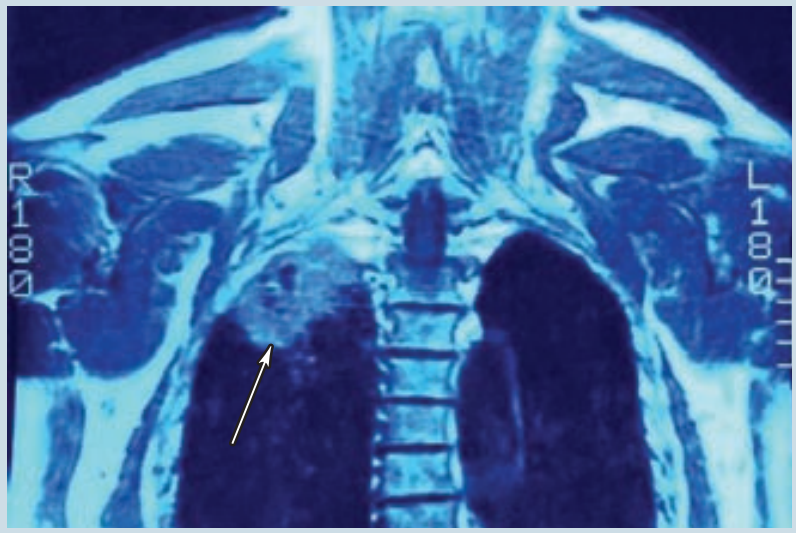


Figura 24.16 **Resultados de la RM de Dorothy**

Después de hablar con el radiólogo, la doctora solicita una radiografía de tórax y una RM para Dorothy.

Exploración de seguimiento

Al examinar la RM (**v. figura 24.16**), el radiólogo observa lo siguiente:

- Dorothy tiene un tumor en estadio IV en el lóbulo superior del pulmón derecho.
- Parece que el tumor ha invadido la pared torácica posterior.

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en este capítulo y en los anteriores. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, consultando de nuevo este capítulo si necesita alguna ayuda.

1. ¿Qué nervios inervan los músculos de la superficie anteromedial del antebrazo derecho?
2. ¿Qué rama del sistema nervioso controla la actividad de las glándulas sudoríparas?
3. Dorothy no suda por un lado de su cara. ¿Qué nervios inervan las glándulas sudoríparas de la cara?
4. El ojo derecho de Dorothy no se dilata adecuadamente. ¿Qué músculos se encargan de la dilatación de la pupila ocular? ¿Qué nervios inervan estos músculos?

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar el material, acuda a las páginas del capítulo indicadas, a continuación, mediante corchetes.

1. El nervio cubital inerva el músculo cubital anterior y la parte cubital del músculo flexor común profundo de los dedos **[pp. 373-376]**.
2. La actividad de las glándulas sudoríparas está controlada por la rama simpática del sistema nervioso autónomo **[pp. 454-455]**.
3. La rama simpática del sistema nervioso autónomo inerva las glándulas sudoríparas de la cara. Estas fibras del SNA se originan en T_1 **[pp. 454-455]**.
4. Los músculos dilatadores del iris están inervados por la rama simpática del sistema nervioso autónomo. Estas fibras del SNA se originan en T_1 **[pp. 464-466]**.

Diagnóstico

A Dorothy se le diagnostica síndrome de Horner con afectación de la parte inferior del plexo braquial por un tumor pulmonar. Tiene un tumor de Pancoast en el lóbulo superior del pulmón derecho (los doctores Horner y Pancoast fueron los primeros que describieron el patrón de síntomas y las lesiones anatómicas que producían dichos síntomas).

La inmensa mayoría de los tumores de Pancoast son carcinomas pulmonares no de células pequeñas y en más del 95% de los casos se localizan en el lóbulo superior del pulmón. En muchos casos, los tumores de Pancoast crecen hacia atrás, comprimiendo la pared torácica posterior. Esta compresión altera la función de determinados nervios periféricos.

La compresión tumoral afecta a menudo al ganglio cervical superior de la cadena simpática, interrumpiendo la conducción de las neuronas preganglionares y/o posganglionares y dando lugar al síndrome de Horner. Además, la lesión de las vías dolorosas aferentes del tronco simpático provoca dolor en las regiones escapular, humeral y axilar.

Normalmente, este síndrome compromete también la función del plexo braquial (nervios espinales octavo cervical y primero dorsal). La presión que el tumor produce sobre la parte inferior del plexo braquial comprime los componentes motor y sensitivo del nervio cubital produciendo:

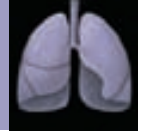
1. Disfunción muscular y atrofia del músculo cubital anterior.
2. Disfunción muscular y atrofia del componente cubital del músculo flexor común profundo de los dedos.
3. Disfunción muscular y atrofia de muchos músculos intrínsecos de la mano.
4. Pérdida de la sensibilidad cutánea de los dedos anular y meñique y de las superficies correspondientes de la mano.

En muchos casos, los pacientes con este tipo de cáncer de pulmón reciben inicialmente tratamiento por sus alteraciones musculoestriadas locales, que les preocupan más que cualquier síntoma respiratorio precoz.

El diagnóstico inicial de estos pacientes puede incluir trastornos como la bursitis y la artrosis vertebral. Los síntomas pueden persistir durante varios meses antes de que se diagnostique el cáncer de pulmón. ■

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

bursitis: Inflamación de una bolsa sinovial.
miosis pupilar: Pupila redonda y contraída.
osteoartritis vertebral: Artritis de las articulaciones entre dos vértebras contiguas.
reflejo cilioespinal (reflejo pupilar cutáneo): Dilatación de la pupila al arañar la piel del cuello.



TÉRMINOS CLÍNICOS

asma: Trastorno caracterizado por unas vías respiratorias excesivamente sensibles, irritables e inflamadas.

atelectasia: Colapso total o parcial de un pulmón.

bronquitis: Inflamación de la mucosa bronquial.

cáncer de pulmón: Tipo de neoplasias malignas agresivas que se originan en los conductos bronquiales o los alvéolos.

derrame pleural: Acumulación anormal del líquido en el interior de las cavidades pleurales.

embolia pulmonar: Bloqueo de una arteria pulmonar por un coágulo de sangre, una masa de grasa o una burbuja de aire.

enfisema: Trastorno progresivo y crónico caracterizado por la falta de aliento y que se debe a la destrucción de las superficies de intercambio respiratorio.

epistaxis: Hemorragia nasal como consecuencia de traumatismos, infecciones, alergias, hipertensión arterial u otros factores.

fibrosis quística (FQ): Trastorno hereditario mortal, relativamente frecuente, en el que las secreciones mucosas de los pulmones son demasiado densas y no pueden expulsarse fácilmente.

laringitis: Infección o inflamación de la laringe.

maniobra de Heimlich: Método de compresión abdominal para forzar la expulsión de cuerpos extraños alojados en la tráquea o la laringe.

neumonía: Trastorno causado por una infección de los lóbulos pulmonares y que se caracteriza por una merma de la función respiratoria como consecuencia de la salida de líquido a los alvéolos y/o de la hinchazón y la constricción de los bronquíolos respiratorios.

neumotórax: Entrada de aire en la cavidad pleural.

reanimación cardiopulmonar (RCP): Aplicación de ciclos de compresión sobre la jaula torácica y respiración boca a boca para mantener las funciones circulatoria y respiratoria.

silicosis, asbestosis y antracosis: Procesos clínicos graves causados por la inhalación de polvo u otras partículas en cantidades suficientes para desbordar las defensas respiratorias, que dan lugar a fibrosis pulmonar y a una merma de la función respiratoria.

síndrome de dificultad respiratoria (SDR): Trastorno causado por una producción insuficiente de surfactante, y que se caracteriza por un colapso de los alvéolos y la imposibilidad de mantener un intercambio gaseoso adecuado en los pulmones.

toracocentesis: Extracción de una muestra de líquido pleural para su estudio diagnóstico.

traqueostomía: Inserción de un tubo a través de una incisión en la pared anterior de la tráquea para evitar un cuerpo extraño o una lesión laríngea.

tuberculosis (TB): Infección de los pulmones por la bacteria Mycobacterium tuberculosis. Los síntomas son variables, aunque normalmente consisten en tos y dolor torácico, con fiebre, sudoración nocturna, cansancio y pérdida de peso.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 630

Revisión del aparato respiratorio 630

1. El **aparato respiratorio** comprende la nariz, la cavidad y los senos nasales, la faringe, la laringe, la tráquea y las vías respiratorias que conducen a las superficies de intercambio de los pulmones *(v. figura 24.1)*.
2. Las **vías respiratorias superiores** están constituidas por la nariz, la cavidad nasal, los senos paranasales y la faringe. Estas estructuras inician el proceso de filtración y humidificación del aire inspirado. Las **vías respiratorias inferiores** comprenden la laringe, la tráquea, los pulmones, los bronquios, los bronquíolos y los alvéolos.
3. Las **vías respiratorias** constan de una *parte conductora,* que va desde la entrada a la cavidad nasal hasta los bronquíolos, y una *parte respiratoria,* que comprende los *bronquíolos respiratorios* y los **alvéolos** *(v. figura 24.1)*.

Funciones del aparato respiratorio 631

4. El aparato respiratorio: 1) proporciona una zona para el intercambio gaseoso entre el aire y la sangre circulante; 2) lleva el aire hasta las superficies de intercambio y posteriormente lo expulsa al exterior; 3) protege las superficies respiratorias; 4) defiende el aparato respiratorio y otros tejidos contra los microorganismos patógenos; 5) permite la comunicación vocal, y 6) ayuda a regular la volemia, la presión arterial y el pH de los líquidos corporales.

Epitelio respiratorio 631

5. El **epitelio respiratorio** tapiza los conductos del aparato respiratorio hasta los bronquíolos de menor calibre.
6. El epitelio respiratorio está formado por un epitelio cilíndrico, seudoestratificado, ciliado, con células mucosas *(v. figura 24.2)*.
7. El epitelio respiratorio produce moco que atrapa las partículas entrantes. Por debajo del mismo se encuentra la **lámina propia** (una capa de tejido conjuntivo); en conjunto, el epitelio respiratorio y la lámina propia forman la **mucosa** (membrana mucosa) *(v. figura 24.2)*.
8. El **sistema de defensa respiratorio** comprende la *escalera mecánica mucosa* (que arrastra las partículas hacia el estómago), macrófagos alveolares, pelos y cilios.

Vías respiratorias superiores 632

Nariz y cavidad nasal 632

1. Normalmente, el aire penetra en el aparato respiratorio a través de los **orificios nasales externos,** que conducen a la cavidad nasal. El **vestíbulo** (entrada) de la nariz está protegido por unos pelos que filtran las partículas de mayor tamaño *(v. figura 24.3)*.
2. El aire inspirado pasa a través de los **meatos** (hendiduras estrechas) **superior**, **medio** o **inferior** y choca con las superficies de los cornetes *(v. figura 24.3b,d)*.
3. El **paladar duro** separa las cavidades oral y nasal. El **paladar blando** separa la *nasofaringe* superior de la cavidad oral. Las comunicaciones entre la cavidad nasal y la nasofaringe representan los **orificios nasales internos** *(v. figura 24.3)*.

Faringe 634

4. La **faringe** es una cámara que comparten los aparatos digestivo y respiratorio. La **nasofaringe** constituye la parte superior de la faringe. La **orofaringe** se continúa con la cavidad oral; la **laringofaringe** comprende una zona estrecha situada entre el hioides y la entrada al esófago *(v. figuras 24.3c,d y 25.5a)*.

Vías respiratorias inferiores 634

Laringe 634

1. El aire inspirado pasa por la **glotis** en su camino hacia los pulmones; la **laringe** rodea y protege la glotis. La **epiglotis** se proyecta hacia la faringe *(v. figuras 24.3c,d/24.4/24.5)*.
2. Dos pares de pliegues cruzan la apertura glótica: los **pliegues vestibulares,** relativamente inelásticos, y los **pliegues vocales,** más delicados. El aire que atraviesa la glotis hace vibrar los pliegues vocales y produce sonidos *(v. figura 24.5)*.
3. Los **músculos laríngeos intrínsecos** regulan la tensión de los pliegues vocales y abren y cierran la glotis. La **musculatura laríngea extrínseca** coloca y estabiliza la laringe. Durante la deglución, ambos grupos de músculos impiden la entrada de partículas en la glotis *(v. figura 24.6)*.

Tráquea 637

1. La **tráquea** se extiende desde la sexta vértebra cervical hasta la quinta vértebra dorsal. La **submucosa** contiene **cartílagos traqueales** con forma de C que confieren rigidez a las paredes traqueales y protegen la vía respiratoria. La pared traqueal posterior puede deformarse para permitir el paso de grandes masas de comida a través del esófago *(v. figuras 24.2a/24.3c/24.7)*.

Bronquios principales 638

1. La tráquea se ramifica en el mediastino formando los **bronquios primarios** *(principales)* **derecho** e **izquierdo.** Los bronquios primarios y sus ramas forman el *árbol bronquial.* Cada bronquio penetra en uno de los pulmones por el **hilio.** La **raíz** del pulmón es una masa de tejido conjuntivo que comprende el bronquio, vasos pulmonares y nervios *(v. figuras 24.7/24.8)*.

Pulmones 638

Lóbulos pulmonares 638

1. Los **lóbulos** pulmonares están separados por fisuras. El **pulmón derecho** tiene tres lóbulos: **superior, medio** e **inferior;** los lóbulos superior e inferior están separados por una *cisura oblicua*, mientras que los lóbulos superior y medio están separados por una *fisura horizontal*. El pulmón derecho tiene también tres bronquios secundarios: los **bronquios lobulares superior, medio** e **inferior.** El **pulmón izquierdo** tienen dos lóbulos: **superior** e **inferior,** separados por una *cisura oblicua*; y dos bronquios secundarios: los **bronquios lobulares superior** e **inferior** *(v. figura 24.8)*.

Superficies pulmonares 638

2. La **superficie costal** del pulmón se adapta al contorno interior de la jaula torácica. La **superficie mediastínica** contiene un hilio, y el pulmón izquierdo presenta la **impresión cardíaca** *(v. figura 24.8)*.
3. El tejido conjuntivo de la raíz penetra en el **parénquima** pulmonar formando una serie de **trabéculas** (particiones). Estas ramificaciones forman **tabiques** que dividen el pulmón en **lobulillos** *(v. figura 24.9)*.

Bronquios pulmonares 640

4. Los *bronquios extrapulmonares* **(bronquios primarios izquierdo** y **derecho)** se localizan fuera del tejido pulmonar. Los *bronquios intrapulmonares* (ramificaciones en el interior del pulmón) están rodeados por bandas de músculo liso *(v. figuras 24.7/24.9/24.10/24.11)*.
5. Cada pulmón se subdivide en unidades más pequeñas denominadas **segmentos broncopulmonares.** Estos segmentos reciben el nombre correspondiente a sus bronquios terciarios asociados. El pulmón derecho contiene 10 segmentos broncopulmonares y el izquierdo suele contener 8-9 segmentos *(v. figuras 24.7/24.9/24.10)*.

Bronquíolos 643

6. Dentro de los segmentos broncopulmonares, cada bronquio terciario da origen finalmente a 50-80 **bronquíolos terminales** que se comunican con lobulillos individuales *(v. figuras 24.9/24.11)*.

Conductos alveolares y alvéolos 643

7. Los **bronquíolos respiratorios** se abren en **conductos alveolares;** en cada conducto están interconectados muchos alvéolos *(v. figuras 24.11/24.12)*.
8. La **membrana respiratoria** (revestimiento alveolar está formada por un epitelio escamoso simple de **neumocitos de tipo I** *(células alveolares de tipo I);* dispersos en su interior hay **neumocitos de tipo II** *(células alveolares de tipo II)* que producen una secreción oleosa **(surfactante)** que impide que se colapse en los alvéolos. Los **macrófagos alveolares** *(células del polvo)* patrullan el epitelio y fagocitan las partículas extrañas *(v. figura 24.12)*.

Vascularización de los pulmones 646

9. Las superficies de intercambio respiratorio se comunican ampliamente con el aparato circulatorio a través de los vasos del circuito pulmonar.

Cavidades y membranas pleurales 646

1. Cada pulmón ocupa una **cavidad pleural** recubierta por una **pleura** (membrana serosa). Existen dos tipos de pleuras: la **pleura parietal,** que tapiza la superficie interna de la pared torácica, y la **pleura visceral,** que recubre los pulmones. Ambas membranas pleurales secretan **líquido pleural** *(v. figura 24.13)*.

Músculos respiratorios y ventilación pulmonar 647

Músculos respiratorios 647

1. La **ventilación pulmonar** consiste en el movimiento de entrada y salida del aire de los pulmones. Los músculos respiratorios más importantes son el **diafragma** y los **músculos intercostales externos** e **internos**. La contracción del diafragma incrementa el volumen de la cavidad torácica; los músculos intercostales externos pueden ayudar durante la inspiración haciendo ascender las costillas; los intercostales internos deprimen las costillas y reducen la anchura de la cavidad torácica, contribuyendo de ese modo a la espiración. Los **músculos respiratorios accesorios** entran en acción cuando es necesario aumentar considerablemente la profundidad y la frecuencia de la respiración. Los músculos accesorios son el esternocleidomastoideo, el serrato anterior, el transverso del tórax, el escaleno, el pectoral menor, y el oblicuo y el recto anterior del abdomen *(v. figura 24.14)*.

Cambios en la respiración tras el nacimiento 649

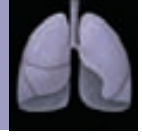
2. Antes del parto, los pulmones fetales están llenos de líquido y colapsados. Con la primera respiración, los pulmones se inflan y ya nunca vuelven a colapsarse completamente a partir de ese momento.

Centros respiratorios del encéfalo 649

3. Los **centros respiratorios** son tres pares de núcleos existentes en la formación reticular de la protuberancia y el bulbo raquídeo. El **centro del ritmo respiratorio** establece el ritmo de la respiración. El **centro apnéustico** induce movimientos inspiratorios intensos y prolongados, mientras que el **centro neumotáxico** inhibe los centros apnéustico e inspiratorio del bulbo raquídeo *(v. figura 24.15)*.
4. En la regulación de la respiración intervienen tres reflejos diferentes: 1) los *reflejos mecanorreceptores* responden a los cambios en el volumen pulmonar o en la presión arterial; 2) los *reflejos quimiorreceptores* responden a las fluctuaciones en la P_{CO_2}, el pH y la P_{O_2} de la sangre y el líquido cefalorraquídeo, y 3) los *reflejos protectores* responden a las agresiones físicas o la irritación de las vías respiratorias *(v. figura 24.15)*.
5. Los procesos mentales conscientes e inconscientes pueden controlar también la actividad respiratoria influyendo sobre los centros respiratorios o controlando los músculos respiratorios.

Envejecimiento y aparato respiratorio 650

1. Generalmente, el aparato respiratorio pierde eficacia con la edad debido a que: 1) el tejido elástico se deteriora, mermando la capacidad vital de los pulmones; 2) los cambios artríticos y la pérdida de flexibilidad de los cartílagos costales restringen la movilidad de la jaula torácica, y 3) en las personas mayores es normal un cierto grado de enfisema.



REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A

___ 1. musculatura laríngea extrínseca
___ 2. bronquios terciarios
___ 3. nasofaringe
___ 4. pliegues vestibulares
___ 5. vías respiratorias inferiores
___ 6. tráquea
___ 7. dorso de la nariz
___ 8. bronquios secundarios
___ 9. vías respiratorias superiores
___ 10. laringe

Columna B

a. parte superior de la faringe
b. puente de la nariz
c. nariz, cavidad nasal, senos paranasales
d. tráquea
e. bronquios lobulares
f. rodea y protege la glotis
g. laringe, tráquea, bronquios, pulmones
h. protege las cuerdas vocales
i. coloca y estabiliza la laringe
j. bronquios segmentarios

11. El aire que penetra en el cuerpo es filtrado, calentado y humidificado por:
(a) las vías respiratorias superiores (b) las vías respiratorias inferiores
(c) los pulmones (d) los alvéolos

12. El surfactante:
(a) protege la superficie de los pulmones
(b) fagocita partículas de pequeño tamaño
(c) repone el moco alveolar
(d) ayuda a impedir el colapso alveolar

13. La parte de la faringe que recibe aire y alimentos es:
(a) la nasofaringe (b) la orofaringe
(c) el vestíbulo (d) la laringofaringe

14. La parte de la cavidad nasal comprendida entre los tejidos flexibles de la nariz externa es:
(a) la nasofaringe (b) el vestíbulo
(c) la cámara interna (d) la glotis

15. ¿Qué aspecto de la función laríngea se vería alterada si resultaran dañados los cartílagos aritenoides y corniculados?
(a) el aire no podría entrar
(b) la laringe no podría ascender ni descender durante la deglución para facilitar el paso del bolo alimenticio
(c) se alteraría la producción de sonidos
(d) probablemente la persona se asfixiaría

16. ¿Qué función cumple la úvula?
(a) no tiene una función conocida
(b) atrapa trozos de comida que penetran accidentalmente antes de ser masticados adecuadamente para su deglución y los devuelve a la cavidad oral
(c) forma un sello entre la cavidad oral y la nasofaringe para impedir la entrada prematura de materiales en la región faríngea
(d) está constituida por tejido linfático, lo mismo que las amígdalas vecinas

17. El cartílago que sirve de base de la laringe es:
(a) el cartílago tiroides (b) el cartílago cuneiforme
(c) el cartílago corniculado (d) el cartílago cricoides

18. Los pliegues vocales se localizan en:
(a) la nasofaringe (b) la orofaringe
(c) la laringe (d) la tráquea

19. La tráquea:
(a) está tapizada por epitelio escamoso simple
(b) está reforzada por cartílagos con forma de C
(c) no contiene glándulas mucosas
(d) no altera su diámetro

20. Los bloques de cartílago presentes en los bronquios secundarios y terciarios:
(a) cumplen una función totalmente diferente de la de los anillos traqueales
(b) sustentan los bronquios y ayudan a mantener sus luces abiertas
(c) se diferencian de los demás tejidos cartilaginosos por su gran vascularización
(d) intervienen directamente en el intercambio de gases actuando como deflectores que dirigen el flujo de aire

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. El epitelio del vestíbulo:
(a) no interviene en la filtración
(b) contiene numerosos cilios pequeños y cortos
(c) contiene pelos que impiden únicamente la entrada de las partículas de menor tamaño en los conductos nasales
(d) contiene pelos gruesos que impiden la entrada de partículas grandes e insectos a través de los orificios nasales

2. ¿Por qué una persona resfriada suele tener la nariz taponada?
(a) la respuesta del epitelio nasal a los factores irritantes, como aquellos que causan el resfriado común, consiste en secretar mayores cantidades de moco para atrapar las partículas víricas
(b) mientras una persona está resfriada, le es más fácil respirar el aire si este contiene mucha más humedad de lo normal, y la presencia de los virus del resfriado común estimulan la producción de moco para aumentar la humedad
(c) cuando una persona estornuda, inhala una cantidad excesiva de saliva por los orificios nasales internos, que llena la cavidad nasal
(d) no se conoce la razón

3. ¿En qué se diferencian la respiración profunda y la respiración costal?
(a) durante la respiración profunda, el volumen torácico varía debido a que la jaula torácica cambia de forma
(b) entra y sale aire del árbol bronquial, lo que no sucede en la respiración costal
(c) durante la respiración profunda el diafragma se contrae, cosa que no sucede en la respiración costal
(d) durante la respiración profunda, los músculos se contraen para favorecer tanto la inspiración como la espiración

4. ¿Cuántos lóbulos tiene el pulmón derecho?

5. ¿Qué es la broncodilatación?

6. ¿Qué función cumplen los macrófagos alveolares?

7. ¿Qué función desempeñan los tabiques?

8. ¿Qué hacen los músculos laríngeos intrínsecos?

9. ¿Qué parejas de cartílagos laríngeos intervienen en la apertura y el cierre de la glotis?

10. ¿Qué parte de la faringe comprende la laringofaringe?

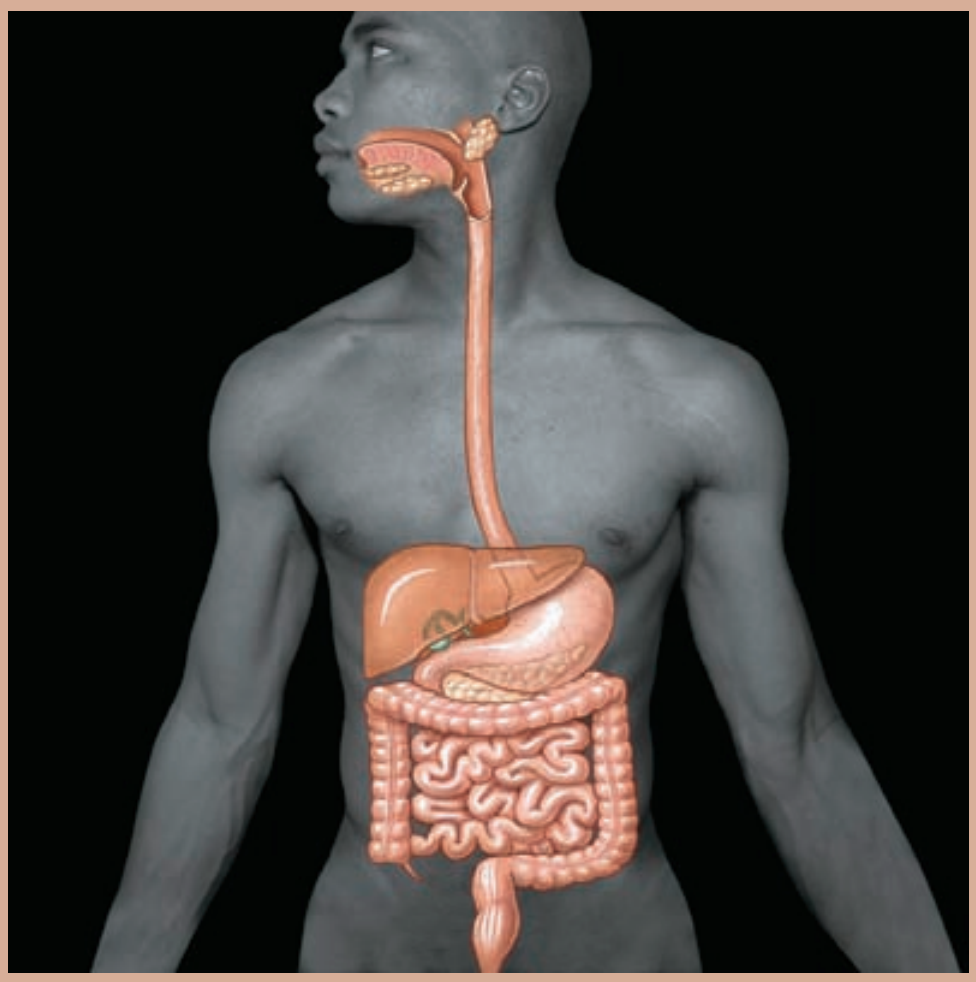
Nivel 3 Pensamiento crítico

1. ¿En qué consiste el trastorno conocido como asma, y cómo pueden explicarse sus síntomas en términos anatómicos?

2. Un neonato fue encontrado muerto, abandonado junto a la carretera. Entre las muchas cosas que la policía querría saber es si el lactante estaba muerto o vivo. Tras la autopsia, el forense les dice que el niño nació muerto. ¿Cómo ha podido determinarlo?

25

Aparato digestivo



Introducción 656

Introducción al aparato digestivo 656

Cavidad oral 662

Faringe 666

Esófago 667

Estómago 668

Intestino delgado 673

Intestino grueso 677

Órganos digestivos glandulares accesorios 680

Envejecimiento y aparato digestivo 687

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Resumir las funciones del aparato digestivo.
2. Localizar los componentes del tubo digestivo y sus órganos accesorios y analizar las funciones de cada uno de ellos.
3. Describir la organización histológica y las características generales de las cuatro capas del tubo digestivo.
4. Explicar cómo el alimento ingerido es impulsado a través del tubo digestivo por acción del músculo liso.
5. Describir el peritoneo y las localizaciones y funciones de los mesenterios.
6. Describir la estructura macroscópica y microscópica de la lengua, los dientes y las glándulas salivales, así como sus localizaciones y funciones básicas.
7. Describir la estructura general y la función de la faringe y el proceso de deglución.
8. Describir la anatomía macroscópica y microscópica, la histología y las funciones del esófago.
9. Describir la anatomía macroscópica y microscópica del estómago, sus funciones y las hormonas que regulan sus actividades.
10. Describir la anatomía macroscópica y microscópica del intestino delgado, sus funciones y las hormonas que regulan sus actividades.
11. Describir la anatomía macroscópica y microscópica del intestino grueso, sus funciones y las hormonas que regulan sus actividades.
12. Analizar la anatomía macroscópica y microscópica del hígado, sus funciones y las hormonas que regulan sus actividades.
13. Analizar la anatomía macroscópica y microscópica de la vesícula biliar, sus funciones y las hormonas que regulan sus actividades.
14. Describir la anatomía macroscópica y microscópica del páncreas y las hormonas que regulan sus actividades.
15. Describir los cambios que se producen en el aparato digestivo con el envejecimiento.

Pocos de nosotros prestamos atención al aparato digestivo, excepto en el momento en el cual deja de funcionar correctamente. Y, sin embargo, todos los días dedicamos horas de esfuerzo consciente a llenarlo y vaciarlo. Las referencias a este sistema fisiológico forman parte de nuestro lenguaje coloquial: hablamos así de experimentar una «sensación visceral», decimos que algo está «para comérselo», o que una opinión o un hecho son «difíciles de digerir». Cuando algo no va bien en nuestro aparato digestivo, incluso cuando el trastorno es menor, de forma inmediata intentamos ponerle remedio. Tal es la razón por la que tanto abunda en los anuncios de televisión la publicidad acerca de dentífricos, colutorios, suplementos dietéticos o productos antiácidos o laxantes.

El aparato digestivo está constituido por un conducto muscular, el **tubo digestivo,** y por varios **órganos accesorios.** La *cavidad oral* (boca), la *faringe,* el *esófago,* el *estómago,* el *intestino delgado* y el *intestino grueso* conforman el tubo digestivo. Por su parte, entre los órganos accesorios se cuentan los dientes, la lengua y varios *órganos glandulares,* como las glándulas salivales, el hígado y el páncreas, que secretan sustancias a los conductos del tubo digestivo. El alimento entra en el tubo y atraviesa toda su longitud. En ese recorrido, las secreciones de los órganos glandulares, que contienen agua, enzimas, sustancias tampón y otros componentes, ayudas a preparar los nutrientes orgánicos e inorgánicos para su absorción a lo largo del epitelio del tubo digestivo. Este y los órganos accesorios actúan de forma conjunta para desarrollar las siguientes funciones:

1. *Ingestión:* la ingestión se produce cuando los alimentos y líquidos entran en el tubo digestivo a través de la boca.
2. *Procesado mecánico:* la mayor parte de los sólidos ingeridos se deben someter a un procesamiento mecánico antes de ser tragados. Los procesos de aplastamiento con la lengua o de fragmentación y trituración con los dientes son ejemplos de este tipo de procesamiento, que se desarrolla antes de la deglución. Después de la misma, los movimientos de mezclado, batido, giro y propulsión del tubo digestivo continúan avanzando en este procesado mecánico.
3. *Digestión:* la digestión es la descomposición química y enzimática de los azúcares complejos, los lípidos y las proteínas, que da lugar a la formación de pequeñas moléculas que son absorbidas por el epitelio digestivo.
4. *Secreción:* generalmente la digestión comprende la intervención de ácidos, enzimas y sustancias tampón, producidas por secreción activa. Algunas de tales secreciones tienen lugar en el revestimiento del tubo digestivo, aunque mayoritariamente proceden de órganos accesorios como el páncreas.
5. *Absorción:* la absorción es el movimiento de las moléculas orgánicas, los electrólitos, las vitaminas y el agua a través del epitelio digestivo y dirigido al líquido intersticial del tubo digestivo.
6. *Excreción:* los productos residuales son excretados al tubo digestivo, fundamentalmente por acción de las glándulas accesorias (en especial, el hígado).
7. *Compactación:* la compactación es la deshidratación progresiva de los materiales no digeribles y de los residuos orgánicos antes de su eliminación del cuerpo. El material compactado conforma las **heces;** la **defecación** es la eliminación de heces del cuerpo.

El revestimiento del tubo digestivo también desempeña una función defensiva, al proteger los tejidos adyacentes contra: 1) los efectos corrosivos de ácidos y enzimas digestivos; 2) las tensiones mecánicas, como la abrasión, y 3) los agentes patógenos, ingeridos con los alimentos o que residen en el interior del tubo digestivo.

En resumen, los órganos del aparato digestivo procesan mecánicamente y químicamente el alimento que se introduce por la boca y que atraviesa el conducto digestivo. El objetivo de estas actividades se centra en convertir los sólidos, de estructura química compleja, en pequeñas moléculas que puedan ser absorbidas por el epitelio que reviste el tubo digestivo, para transferirlas a la sangre circulante.

Introducción al aparato digestivo

[v. figura 25.1]

Los principales componentes del aparato digestivo se muestran en la **figura 25.1**. Aunque varios de sus órganos tienen funciones solapadas, cada uno de ellos presenta determinadas áreas de especialización y exhibe características histológicas propias. Antes de analizar estas especializaciones y diferenciaciones, trataremos los rasgos estructurales comunes a todas las porciones del tubo digestivo.

Organización histológica del tubo digestivo [v. figura 25.2]

Las principales capas del tubo digestivo son: 1) la *mucosa*; 2) la *submucosa*; 3) la *muscular propia*, y 4) la *serosa*. A lo largo de la estructura del conducto digestivo se registran variaciones en la estructura de estas cuatro capas. Tales variaciones se relacionan con las funciones específicas de cada órgano y región. Sendas perspectivas transversal y tridimensional de un área representativa del tubo digestivo pueden observarse en la **figura 25.2**.

Mucosa [v. figura 25.2]

El revestimiento interno, o **mucosa,** del tubo digestivo es un ejemplo de **membrana mucosa.** Este tipo de membranas, presentadas en el capítulo 3, consisten en una capa de tejido conjuntivo recubierta por un epitelio,que es humedecido por secreciones glandulares [p. 72]. El **epitelio mucoso** puede ser estratificado o simple, en función de su localización y de las tensiones a las que se vea sometido. Por ejemplo, la cavidad oral y el esófago están revestidos por un epitelio escamoso estratificado que puede resistir importantes tensiones y fuerzas de abrasión, mientras que el estómago, el intestino delgado y casi todo el intestino grueso presentan un epitelio cilíndrico simple especializado en la secreción y la absorción. A menudo, la mucosa del tubo digestivo está organizada en pliegues transversales o longitudinales (**v. figura 25.2**).

Los pliegues, también denominados *plicae* (en singular *plica*), presentan aspecto de frunces o dobleces y aumentan de forma drástica la superficie disponible para la absorción. En algunas áreas del tubo digestivo, los pliegues se encuentran presentes de forma permanente y afectan tanto a la mucosa como a la submucosa. En otras áreas, los pliegues consituyen rasgos transitorios que desaparecen cuando la luz de esa parte del conducto se llena, favoreciendo la expansión de dicha luz tras una comida copiosa. Los conductos que desembocan en las superficies epiteliales transportan las secreciones de las células glandulares, bien a la mucosa y la submucosa, bien a los órganos accesorios.

La capa subyacente de tejido areolar, llamada **lámina propia,** contiene vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas sensoriales, vasos linfáticos, fibras de músculo liso y áreas diseminadas de tejido linfático. Este último forma parte de la red de tejido linfático asociado a mucosas, MALT, presentada en el capítulo 23 [p. 616]. En la mayor parte de las áreas del tubo digestivo, la porción externa de la mucosa, es una estrecha banda de músculo liso y fibras elásticas. Dicha banda se denomina **muscular de la mucosa** o **lámina muscular de la mucosa.** Las fibras de músculo liso de la muscular de la mucosa están dispuestas en dos finas capas concéntricas (**v. figura 25.2a**). La capa interna comprende la luz *(capa circular),* mientras que la externa contiene fibras de músculo orientadas en paralelo al eje largo del conducto *(capa longitudinal).* La contracción de estas capas altera la forma de la luz y hace que se muevan los pliegues epiteliales.

Submucosa [v. figura 25.2a]

La **submucosa** es una capa de tejido conjuntivo, denso e irregular, que rodea la muscular de la mucosa. En esta capa se hallan grandes vasos sanguíneos y linfáticos y, en algunas áreas de la misma, también es posible encontrar glándulas exócrinas que secretan sustancias tampón y enzimas a la luz del tubo. En su margen externo, la submucosa contiene una red de fibras nerviosas y cuerpos celulares neuronales dispersos. Este **plexo submucoso** *(plexo de Meissner),* que

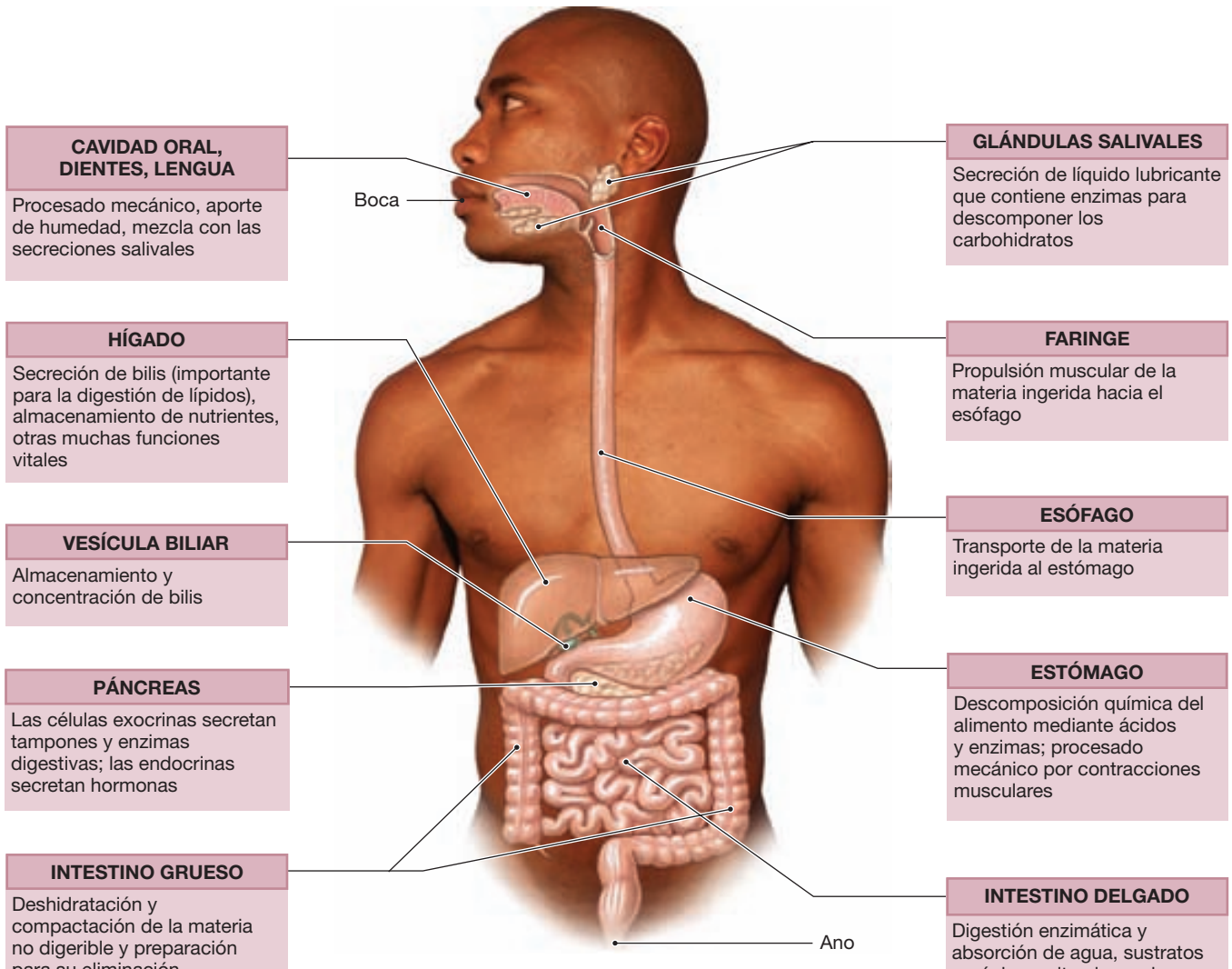

CAVIDAD ORAL, DIENTES, LENGUA
Procesado mecánico, aporte de humedad, mezcla con las secreciones salivales
Boca
HÍGADO
Secreción de bilis (importante para la digestión de lípidos), almacenamiento de nutrientes, otras muchas funciones vitales
VESÍCULA BILIAR
Almacenamiento y concentración de bilis
PÁNCREAS
Las células exocrinas secretan tampones y enzimas digestivas; las endocrinas secretan hormonas
INTESTINO GRUESO
Deshidratación y compactación de la materia no digerible y preparación para su eliminación
Ano
GLÁNDULAS SALIVALES
Secreción de líquido lubricante que contiene enzimas para descomponer los carbohidratos
FARINGE
Propulsión muscular de la materia ingerida hacia el esófago
ESÓFAGO
Transporte de la materia ingerida al estómago
ESTÓMAGO
Descomposición química del alimento mediante ácidos y enzimas; procesado mecánico por contracciones musculares
INTESTINO DELGADO
Digestión enzimática y absorción de agua, sustratos orgánicos, vitaminas e iones

Figura 25.1 Componentes del aparato digestivo
La ilustración presenta las principales áreas y órganos accesorios del tubo digestivo, junto con un apunte de sus funciones primarias.

inerva la mucosa, contiene neuronas sensoriales, ganglios parasimpáticos y fibras posganglionares simpáticas (v. figura 25. 2a).

Muscular propia [v. figura 25.2]

La **muscular propia,** que rodea la submucosa, es un área dominada por fibras de músculo liso, estructuradas en capas circulares (internas) y longitudinales (externas) (v. figura 25.2). Dichas capas desempeñan un papel fundamental en el procesado mecánico y la propulsión de materiales a lo largo del tubo digestivo. Estos movimientos están coordinados fundamentalmente por neuronas del **plexo mientérico,** o *plexo de Auerbach*. La red, constituida por ganglios parasimpáticos y fibras posganglionares simpáticas, queda comprendida entre las capas musculares circular y longitudinal. La estimulación parasimpática aumenta el tono muscular y favorece las contracciones, en tanto que la simpática fomenta la inhibición de la actividad y la relajación musculares.

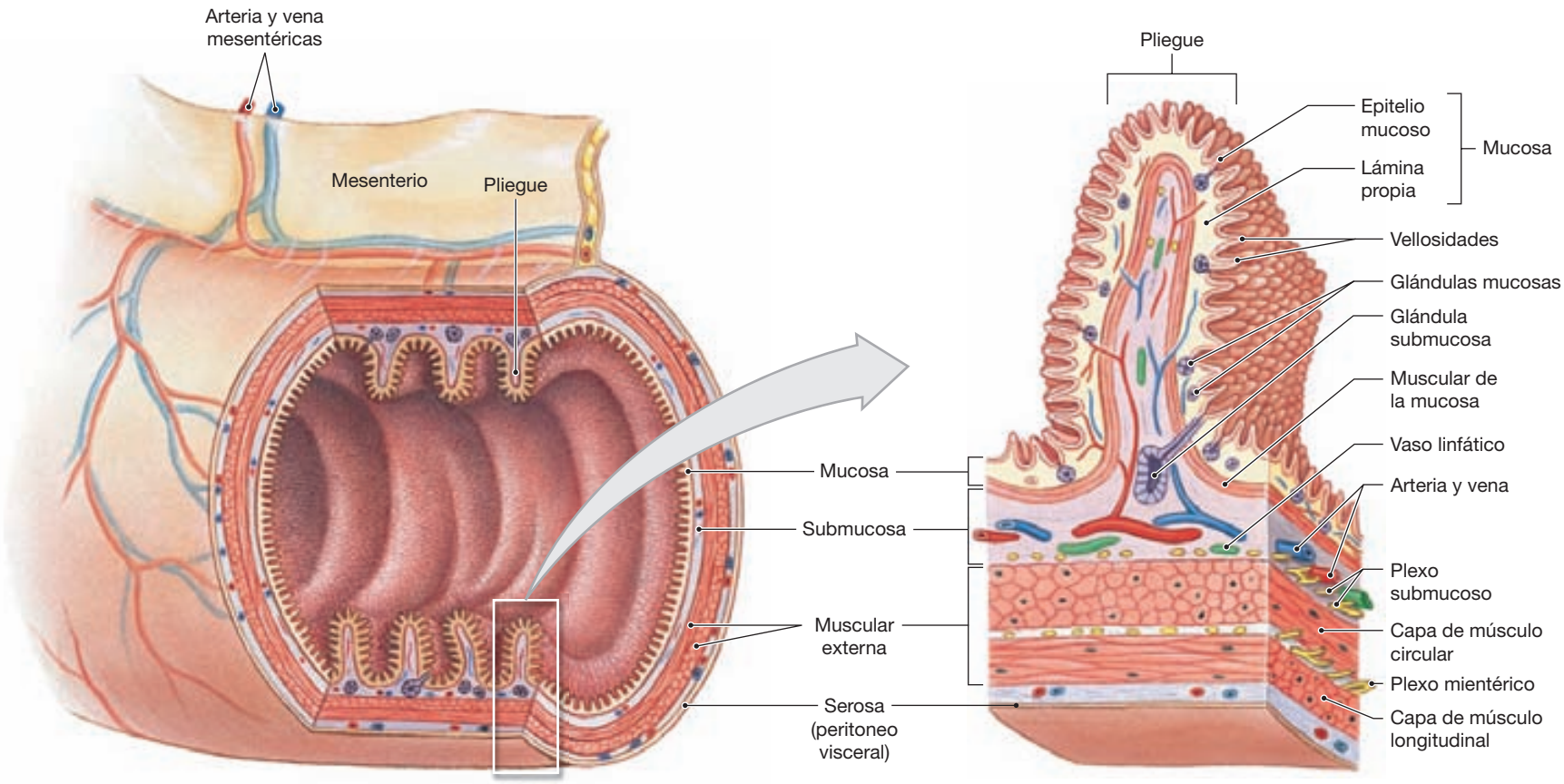
Por otra parte, en localizaciones específicas del tubo digestivo, la muscular propia forma esfínteres, o *válvulas*, que ayudan a evitar que la materia ingerida se desplace a lo largo del tubo en momentos inadecuados o en dirección equivocada.

Serosa [v. figura 25.2]

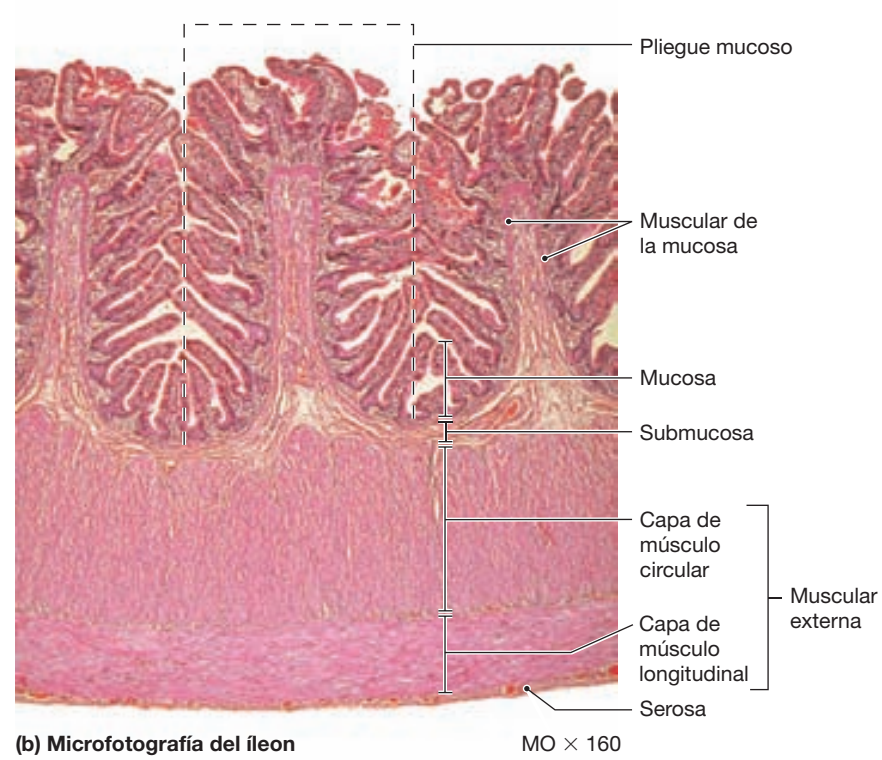
Como la mayor parte de las áreas del tubo digestivo comprendidas en el interior de la cavidad peritoneal, la muscular propia está revestida por una *membrana serosa*, conocida simplemente como **serosa** (v. figura 25.2). No obstante, esta membrana no está presente en la muscular propia de la cavidad oral, la faringe, el esófago y el recto. En ellos, está envuelta por una densa red de fibras de colágeno que fija firmemente el tubo digestivo a las estructuras adyacentes. Esta cubierta fibrosa se denomina **adventicia.**

Capas musculares y movimiento de los materiales digestivos

El tubo digestivo contiene **tejido muscular liso visceral.** Una sola célula muscular lisa oscila entre los 2 y los 10 μm de diámetro y entre los 30 y los 200 μm de longitud. Estas células están rodeadas de tejido conjuntivo, si bien en él las fibras no forman tendones ni aponeurosis. Las proteínas contráctiles de estas células musculares lisas no están organizadas en sarcómeros, por lo que son células de músculo no estriado involuntario [p. 75]. Aunque se trata de células no estriadas, sus contracciones son tan fuertes como las de las células del músculo estriado o cardíaco. En el tejido muscular liso visceral, muchas de las células no presentan inervación motora. Las células musculares están dispuestas en estratos celulares o capas, y las adyacentes a ellas están conectadas eléctricamente mediante uniones comunicantes. Cuando una célula de músculo liso visceral se contrae, la contracción se extiende mediante una onda que se transmite a través del tejido. El estímulo inicial puede ser la activación de una neurona motora que entra en contacto con las células de músculo liso de esa área. Asi-



(a) Organización histológica del tubo digestivo



(b) Microfotografía del íleon MO × 160

Figura 25.2 Estructura histológica del tubo digestivo
(a) Imagen tridimensional de la organización histológica del tubo digestivo. **(b)** Microfotografía del íleon, que muestra diversos aspectos de la organización histológica del intestino delgado.

mismo, puede ser una repuesta local a agentes químicos, a hormonas, a la concentración de oxígeno o dióxido de carbono, o a factores físicos, como un alto nivel de tensión o de irritación.

Dado que los filamentos contráctiles de las células de músculo liso no presentan una organización rígida, una célula muscular lisa sometida a estiramiento se adapta de inmediato a su nueva longitud, manteniendo la capacidad de contraerse en función de las necesidades. Esta capacidad se denomina *plasticidad*. La plasticidad es especialmente importante para los órganos digestivos que experimentan grandes cambios de volumen, como el estómago.

El músculo liso del tubo digestivo muestra ciclos rítmicos de actividad debido a la presencia de las denominadas **células marcapasos.** Estas células

de músculo liso, que se encuentran tanto en la muscular de la mucosa como en la muscular propia, experimentan una despolarización espontánea, desencadenante de contracciones que dan lugar a dos tipos de movimiento, el *peristaltismo* y la *segmentación*. Estas contracciones ondulatorias se expanden a lo largo de la lámina muscular y facilitan la propulsión y la mezcla del contenido del tubo digestivo.

Peristaltismo [v. figura 25.3a]

La muscular propia impulsa la materia de una región del tubo digestivo a otra por medio de las contracciones que conforman el **peristaltismo.** Este fenómeno consiste en una sucesión de ondas de contracción muscular que inducen desplazamiento de un *bolo* (pequeña masa ovoide de alimento) a lo largo del tubo digestivo. En una **onda peristáltica,** los músculos circulares se contraen por detrás del contenido digestivo. Los músculos longitudinales se contraen a su vez, aproximando los segmentos adyacentes. Una onda de contracción en los músculos circulares impulsa seguidamente a los materiales en la dirección deseada (v. figura 25.3a).

Segmentación [v. figura 25.3b]

La mayor parte de las áreas del intestino delgado y algunas del intestino grueso experimentan contracciones que producen **segmentación** (v. figura 25.3b). Los desplazamientos de este tipo, que agitan y fragmentan los materiales digestivos combinándolos con las secreciones intestinales, no generan movimiento neto en dirección alguna.

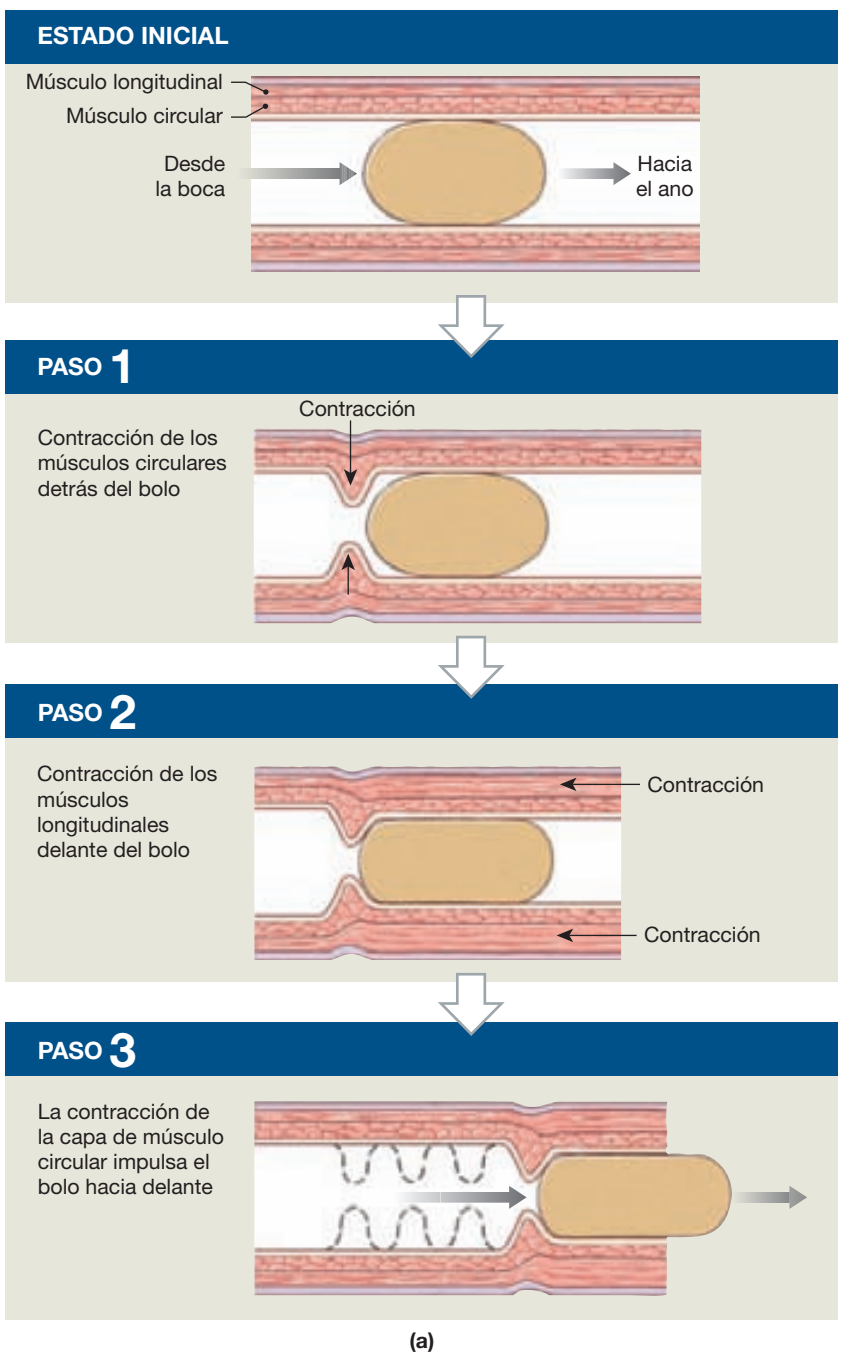


Figura 25.3 Peristaltismo y segmentación

(a) El peristaltismo impulsa la materia ingerida a lo largo del tubo digestivo mediante contracciones coordinadas de las capas circulares y longitudinales. **(b)** Los movimientos de segmentación afectan fundamentalmente a las capas de músculo circular. En virtud de ellos se produce la mezcla de los contenidos del tubo digestivo, aunque no se genera movimiento de los mismos en ninguna dirección determinada.

La segmentación y el peristaltismo pueden ser desencadenados por células marcapasos, hormonas, agentes químicos y estimulación física. Las ondas peristálticas se inician asimismo por acción de fibras aferentes y eferentes de los nervios glosofaríngeo, vago y pélvico. Los movimientos peristálticos locales limitados a algunos centímetros en el tubo digestivo son provocados por receptores sensoriales de las paredes del mismo. Estas fibras aferentes forman sinapsis en el plexo mientérico para dar lugar a **reflejos mientéricos** localizados. Son reflejos cortos que no afectan al SNC [p. 465]. El término *sistema nervioso entérico* hace referencia a la red neuronal que coordina estos reflejos.

En general, los reflejos cortos controlan las actividades en una determinada región del tubo digestivo. Dicho control puede implicar la coordinación del peristaltismo local y dar lugar a la secreción de las glándulas digestivas. En el proceso se ve implicado un elevado número de neuronas. De hecho, conviene precisar que el sistema nervioso entérico tiene aproximadamente la misma cantidad de neuronas y neurotransmisores que la médula espinal.

La información sensorial procedente de los receptores en el tubo digestivo también se distribuye en el SNC, en el que puede inducir reflejos largos [p. 465]. Los reflejos largos, que afectan a las interneuronas y las neuronas del SNC, ofrecen un mayor nivel de control sobre las actividades digestivas y glandulares. Generalmente, tales reflejos controlan las ondas peristálticas a gran escala que determinan el movimiento de materiales de una región del tubo digestivo a otra. Los reflejos largos pueden afectar a fibras motoras de los nervios glosofaríngeo, vago y pélvico, que establecen sinapsis en el plexo mientérico.

Nota clínica

Peritonitis La inflamación de la membrana del peritoneo induce síntomas de peritonitis, un proceso doloroso que interfiere con el funcionamiento normal de los órganos afectados. El daño físico, la irritación química o la invasión bacteriana del peritoneo pueden ser causa de casos graves, incluso mortales, de peritonitis. La peritonitis debida a infección bacteriana es una potencial complicación de cualquier abordaje quirúrgico que implique apertura de la cavidad peritoneal o de cualquier enfermedad que perfore las paredes gástrica o intestinal. Las enfermedades hepáticas y renales o la insuficiencia cardíaca pueden dar lugar a un aumento de la tasa de movimiento de fluidos en el revestimiento del peritoneo. La acumulación de fluidos, denominada **ascitis,** produce una característica tumefacción abdominal. La distorsión de los órganos internos por el líquido contenido puede inducir una amplia variedad de síntomas; entre ellos son frecuentes el ardor epigástrico, la indigestión y el dolor lumbar.

Peritoneo

La serosa, o **peritoneo visceral,** forma una continuidad con el **peritoneo parietal** que reviste las superficies internas de la pared del cuerpo [pp. 19-20]. Con frecuencia, de los órganos de la cavidad abdominal se dice que están dispuestos *en* las cavidades abdominal y peritoneal. En realidad, los órganos abdominales presentan una o más de las siguientes relaciones con las membranas peritoneales:

- Los *órganos intraperitoneales* se sitúan en el interior de la cavidad peritoneal, dentro de la cual quedan cubiertos por el peritoneo visceral por todos sus lados. Ejemplos de ello son estómago, hígado e íleon.
- Los *órganos retroperitoneales* están cubiertos por el peritoneo visceral sólo por su parte anterior; en este caso, el órgano se sitúa fuera de la cavidad peritoneal. Es característico el hecho de que estos órganos no se desarrollan a partir del intestino embrionario. Entre ellos se cuentan riñones, uréteres y aorta abdominal.
- Los *órganos retroperitoneales secundarios* son órganos digestivos que se forman intraperitonealmente, pero que luego se hacen retroperitoneales. El cambio se produce durante el desarrollo embrionario, cuando una porción del peritoneo visceral asociado se funde con el peritoneo parietal opuesto. Ejemplos de órganos retroperitoneales secundarios son el páncreas y la mayor parte del duodeno.

El revestimiento peritoneal produce de forma continua un líquido peritoneal acuoso que lubrica las superficies del peritoneo. Cada día son secretados y reabsorbidos unos 7 litros de líquido, aunque el volumen presente en la cavidad peritoneal en un determinado momento es pequeño. En condiciones anómalas, como, por ejemplo, hepatopatías, insuficiencia cardíaca o trastornos electrolíticos, el volumen de líquido intraperitoneal aumenta de manera significativa. Ello da lugar a una peligrosa reducción del volumen sanguíneo y a distorsión de los órganos viscerales.

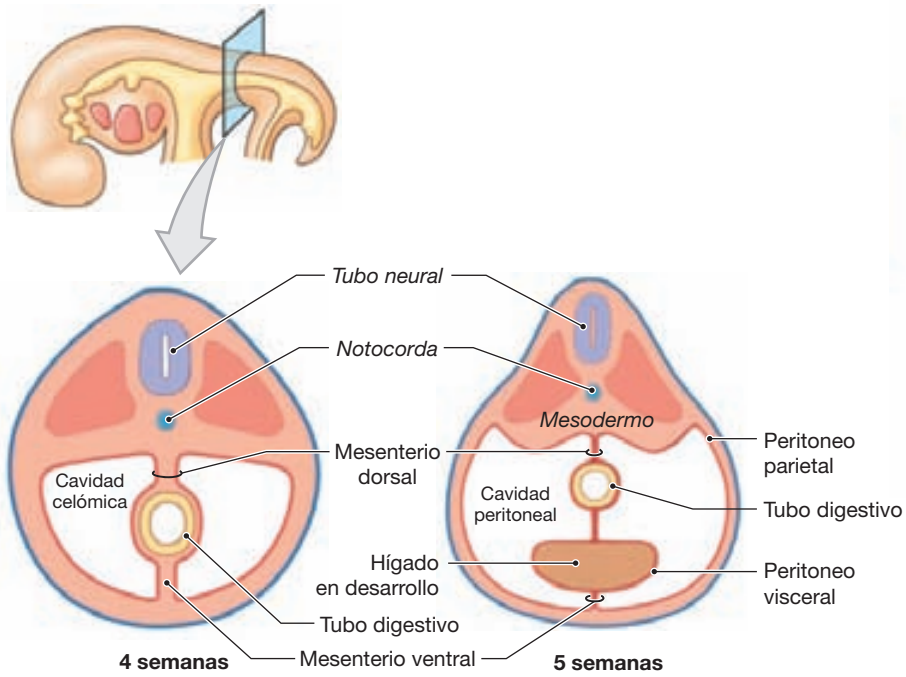
Mesenterios [v. figuras 25.2a/25.4/25.10a/25.11b]

En el interior de la cavidad peritoneal, la mayor parte de las áreas del tubo digestivo son soportadas por láminas de membrana serosa que conectan el peritoneo parietal con el visceral. Estos **mesenterios** son láminas dobles, fusionadas de membrana peritoneal (**v. figura 25.2a**). El tejido conjuntivo areolar situado entre las superficies mesoteliales ofrece una vía de acceso al paso de vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos hacia y desde el tubo digestivo. Asimismo, los mesenterios estabilizan las posiciones relativas de los órganos fijados a ellos y evitan que los intestinos se enreden durante los movimientos digestivos o en los cambios de posición del cuerpo.

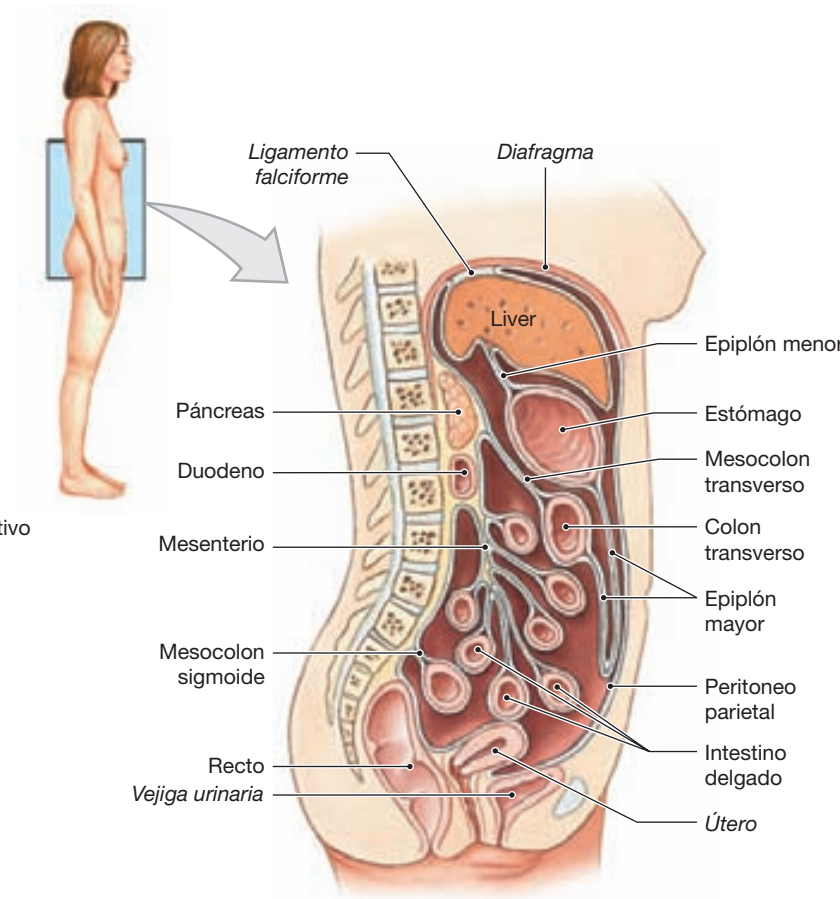
Durante el desarrollo, el tubo digestivo y los órganos accesorios están sostenidos en la cavidad peritoneal por los mesenterios dorsal y ventral (**v. figura 25.4a,b**). Posteriormente, el mesenterio ventral desaparece en la mayor parte del tubo, persistiendo sólo en la superficie ventral del estómago, entre el estómago y el hígado **(epiplón menor)** y entre el hígado y la pared abdominal anterior y el diafragma *(ligamento falciforme)* (**v. figura 25.4b,c,d**). Cabe puntualizar que aunque esta capa peritoneal se denomina ligamento, no es comparable con los ligamentos que interconectan los huesos. Para más información referida al desarrollo del tubo digestivo, los órganos accesorios y los mesenterios asociados, véase el «Resumen de embriología» del capítulo 28.

A medida que el tubo digestivo se alarga, se va girando y enrollando en una cavidad peritoneal relativamente llena de órganos. El mesenterio dorsal del estómago se hace más grande y forma una bolsa que se extiende en sentido inferior entre la pared del cuerpo y la superficie anterior del intestino delgado. Esta bolsa es el **epiplón mayor** (**v. figura 25.4b** y **figuras 25.10a** y **25.11b**). El tejido conjuntivo laxo del mesenterio del epiplón mayor suele contener una capa gruesa de tejido adiposo, cuyos lípidos constituyen una importante reserva de energía. Además, el tejido adiposo del epiplón proporciona aislamiento, lo que reduce la pérdida de calor a través de la pared abdominal anterior. El epiplón mayor también contiene numerosos ganglios linfáticos, que ayudan a proteger el organismo de proteínas, toxinas o patógenos extraños que hayan eludido las defensas digestivas.

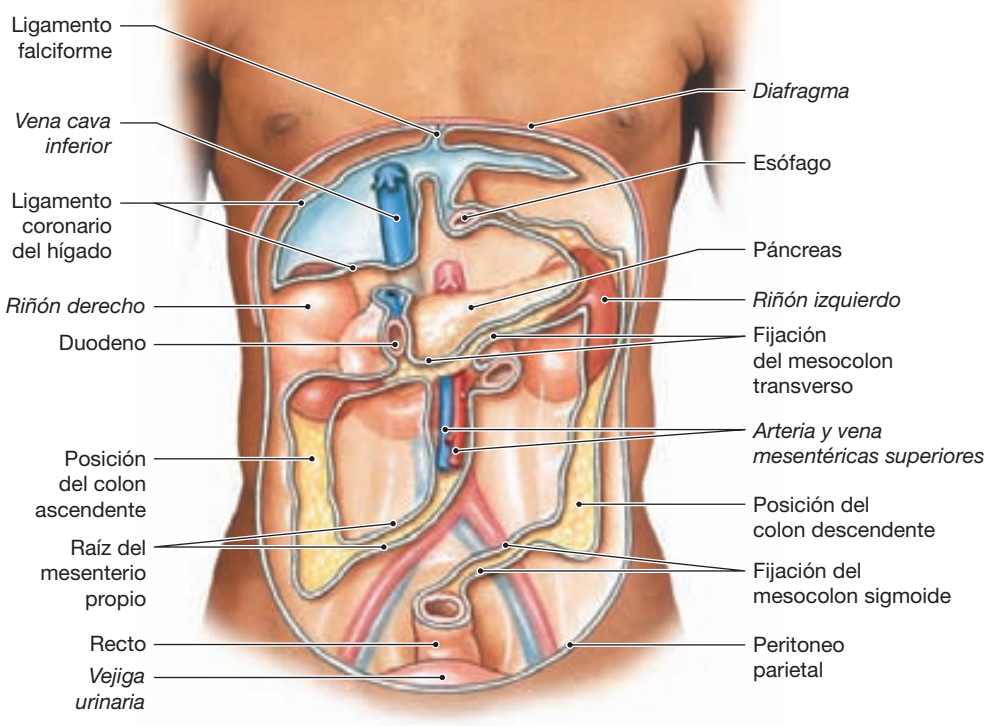
Excepto en sus 25 primeros centímetros, todo el intestino delgado es sostenido por una *capa mesentérica,* llamada simplemente **mesenterio** o **mesenterio propio,** que aporta estabilidad, aunque permite cierto grado de movimiento independiente. El **mesocolon** es un mesenterio fijado al intestino grueso. La porción media del intestino grueso *(colon transverso)* es sostenida por el **mesocolon transverso.** Durante el desarrollo, el mesenterio dorsal del colon ascendente, el colon descendente y el recto se funden en la pared corporal dorsal. Este mesenterio fundido, la *fascia de fusión,* los fija en posición. Estos órganos son, pues, retroperitoneales secundarios, ya que el peritoneo visceral cubre solamente sus superficies anteriores y partes de las laterales (**v. figura 25.4b-d**).



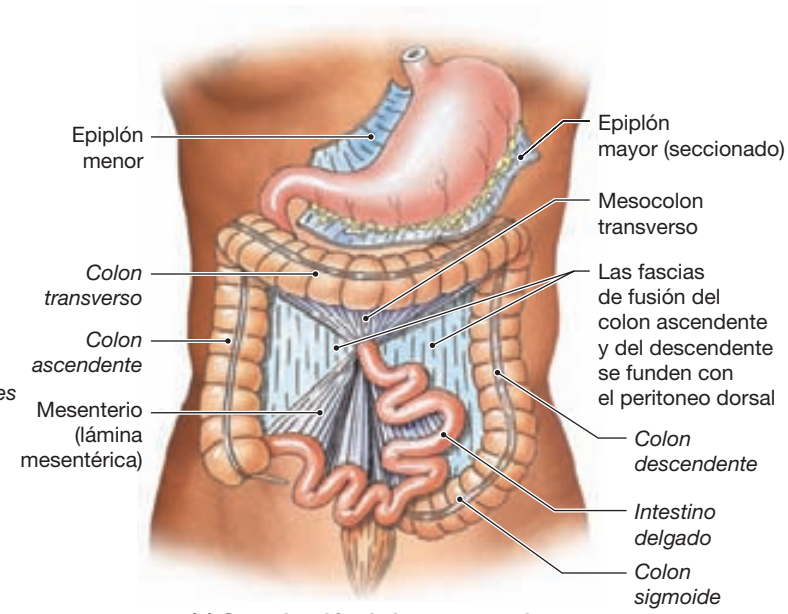
(a) Desarrollo embrionario del tubo digestivo



(b) Corte sagital que muestra los mesenterios en el adulto



(c) Puntos de fijación del mesenterio, vista anterior



(c) Organización de los mesenterios, vista anterior

Figura 25.4 Mesenterios

(a) Imagen esquemática del estado embrionario temprano, con los mesenterios distal y ventral dando soporte al tubo digestivo (izquierda). En una fase algo posterior, se aprecia el desarrollo del hígado en el mesenterio ventral (derecha). *(Para más información, véase «Resumen de embriología» del capítulo 28).* **(b)** Mesenterios de la cavidad abdominopélvica, como se aprecian en un corte sagital esquemático. **(c)** Perspectiva anterior de la cavidad peritoneal vacía, que muestra las líneas de fijación de los mesenterios y de los órganos viscerales a la pared posterior de la cavidad abdominal. **(d)** Organización de los mesenterios en el adulto. Se trata de una imagen simplificada en la que la longitud del intestino delgado aparece muy reducida.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son los componentes y funciones de la mucosa del tubo digestivo?
2. ¿Cuáles son las funciones de los mesenterios?
3. ¿Cuál es la diferencia funcional entre el peristaltismo y la segmentación?
4. ¿Qué aspecto hace que la falta de organización en los filamentos contráctiles de las células de músculo liso sea importante?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Cavidad oral

Nuestra exploración del tubo digestivo seguirá el recorrido del alimento de la boca al ano. La boca se abre a la *cavidad oral.* Las funciones de esta cavidad incluyen: 1) el *análisis* del material ante de deglutirlo; 2) el *procesamiento mecánico* mediante la acción de los dientes, la lengua y las superficies palatinas; 3) la *lubricación* mediante mezcla con las secreciones mucosas y la salivales, y 4) la *digestión* limitada de carbohidratos por efecto de una enzima de la saliva.

Anatomía de la cavidad oral [v. figura 25.5]

La **cavidad oral** o *bucal* (v. figura 25.5) está revestida por la **mucosa oral,** que presenta un epitelio escamoso estratificado que protege la boca de la abrasión durante la ingestión de alimento. A diferencia del epitelio escamoso estratificado de la piel, el epitelio oral no padece queratinización. La mucosa de las **mejillas,** o paredes laterales de la cavidad oral, está sostenida y formada por las *almohadillas grasas* y los *músculos buccinadores* [p. 264]. En la parte anterior, la mucosa de las mejillas se continúa en los **labios.** El **vestíbulo** es el espacio comprendido entre las mejillas, los labios y los dientes. Una cresta de mucosa oral, constituida por las **encías,** rodea la base de cada diente en las superficies alveolares del hueso maxilar y la mandíbula [pp. 148-152].

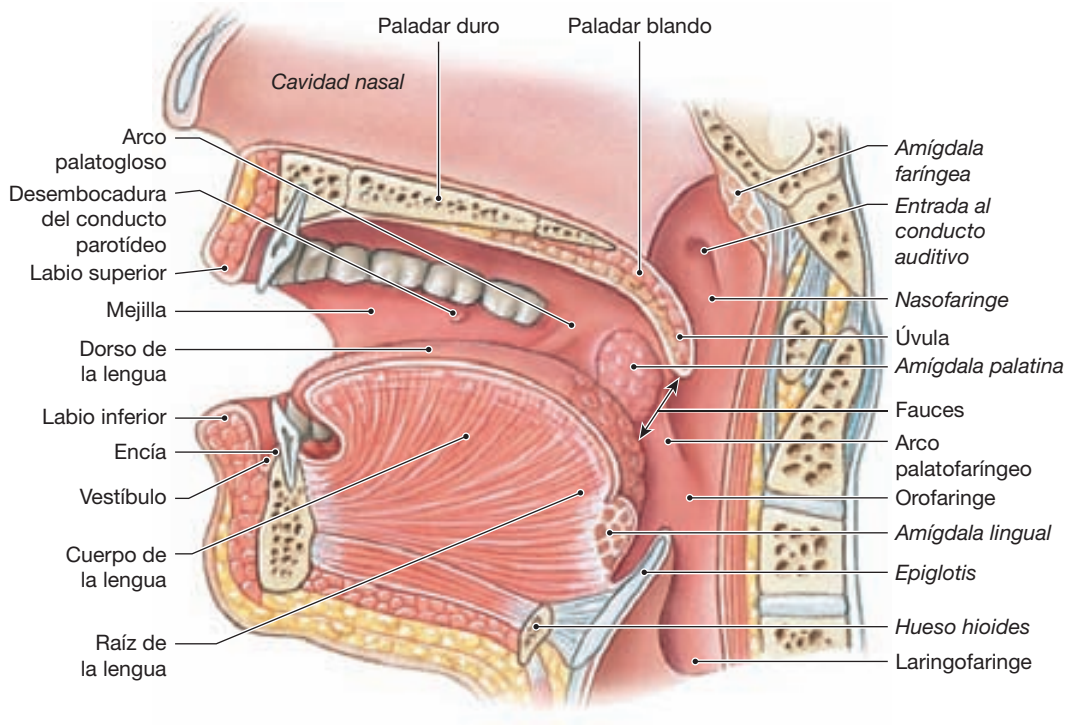
El techo de la cavidad oral está formado por los **paladares duro** y **blando,** mientras que la lengua ocupa su suelo. El paladar duro separa la cavidad oral de la nasal, mientras que el blando separa la citada cavidad de la nasofaringe y la cierra durante la deglución. La **úvula,** protuberancia digitiforme que cuelga en el centro del borde posterior del paladar blando, ayuda a evitar que el alimento pase a la faringe prematuramente. Por debajo de la lengua, el suelo de la boca recibe un soporte adicional del *músculo milohioideo* [p. 271]. El paladar duro está formado por la apófisis palatina del maxilar y el hueso palatino. Por su parte, el paladar blando se sitúa detrás del duro. En el borde posterior del paladar blando se disponen la úvula, péndula, y dos pares de *arcos faríngeos* musculares.

1. Los *arcos palatoglosos* se extienden entre el paladar blando y la base de la lengua. Cada uno de ellos consta de una membrana mucosa y del *músculo palatogloso* subyacente y sus tejidos asociados [p. 269].
2. Los *arcos palatofaríngeos* se extienden del paladar blando a los laterales de la faringe. Cada uno de ellos está formado por una membrana mucosa y por el *músculo palatofaríngeo* subyacente y sus tejidos asociados [p. 270].

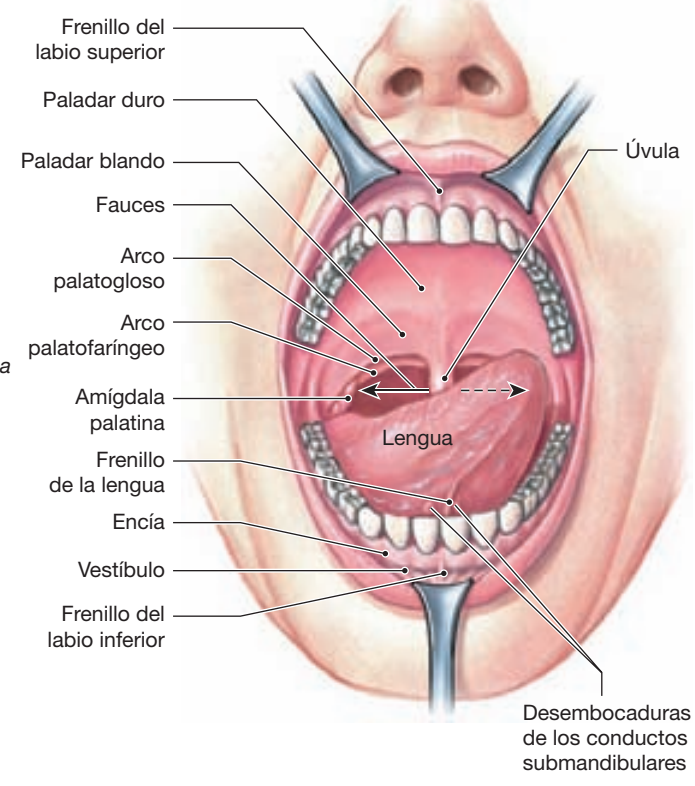
Las amígdalas palatinas se sitúan entre los arcos palatogloso y palatofaríngeo. El borde posterior del paladar blando, incluyendo la úvula, los arcos palatofaríngeos y la base de la lengua, conforma las **fauces**, que constituyen la entrada a la orofaringe.

Lengua [v. figuras 18.7/25.5/25.6a]

La **lengua** (v. figura 25.5) manipula el material que hay en el interior de la boca y, en ocasiones, se emplea para introducir en ella ciertos alimentos (como los helados). Las principales funciones de la lengua son: 1) procesamiento mecánico por compresión, abrasión y distorsión; 2) manipulación para ayudar a la masticación y para preparar el alimento para la deglución;



(a) Cavidad oral, sección sagital



(b) Cavidad oral, vista anterior

Figura 25.5 Cavidad oral
(a) Imagen de la cavidad oral en sección transversal. **(b)** Vista anterior de la cavidad oral, con la boca abierta.

3) análisis sensorial por medio de los receptores táctiles, térmicos y gustativos, y 4) secreción de mucinas y de una enzima que ayuda a digerir las grasas.

En la lengua pueden diferenciarse un **cuerpo** anterior, o *porción oral*, y una **raíz** posterior, o *porción faríngea*. Su superficie superior, o **dorso** del cuerpo, contiene numerosas pequeñas proyecciones denominadas *papilas.*

El epitelio engrosado que cubre cada una de las papilas produce una fricción adicional que contribuye a facilitar el movimiento de la materia con la lengua. Por otra parte, a lo largo de los bordes de numerosas papilas, también pueden encontrase botones gustativos. Los rasgos superficiales y los detalles histológicos de la lengua se muestran en la figura 18.7 [p. 478]. Una línea en forma de V formada por papilas caliciformes marca aproximadamente la separación entre el cuerpo y la raíz de la lengua, que se sitúa en la faringe.

El epitelio de la lengua es irrigado por secreciones de pequeñas glándulas que se extienden en la lámina propia de la lengua. Tales secreciones contienen mucinas acuosas y la enzima *lipasa lingual*. Esta lipasa inicia la descomposición enzimática de los lípidos y, específicamente, de los triglicéridos. El revestimiento epitelial de la superficie interior de la lengua es más fino y delicado que el del dorso. A lo largo de la línea media, un fino pliegue de membrana mucosa, el **frenillo de la lengua,** conecta el cuerpo lingual a la mucosa del suelo de la boca. A cada uno de los lados del frenillo, son visibles al abrirse los conductos de las glándulas salivales (v. figuras 25.5b y 25.6a).

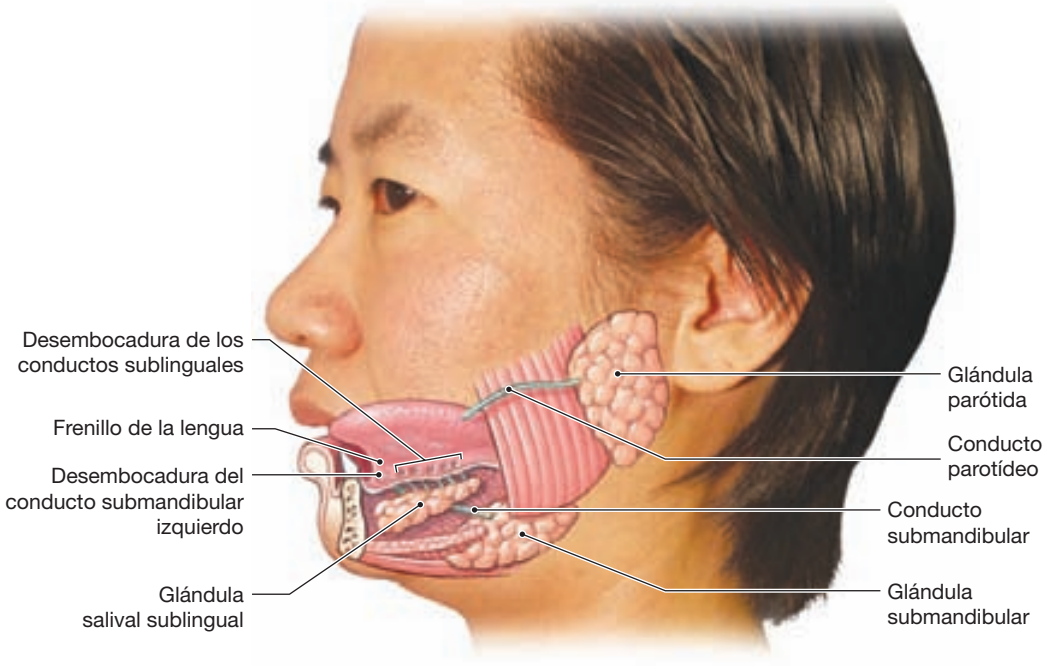
El frenillo de la lengua previene los desplazamientos extremos de la misma. No obstante, si su acción es *demasiado* restrictiva, la persona puede no comer o hablar con normalidad. Cuando se diagnóstica de forma apropiada, esta alteración, denominada **anquiloglosia,** puede corregirse mediante cirugía.

La lengua contiene dos grupos musculares diferentes, los **músculos linguales intrínsecos** y los **extrínsecos.** Ambos son regulados por el nervio hipogloso (NC XII). Los músculos extrínsecos, analizados en el capítulo 10, comprenden el *hiogloso,* el *estilogloso,* el *geniogloso* y el *palatogloso* [p. 269]. Todos los movimientos groseros de la lengua son realizados por los músculos extrínsecos. Los intrínsecos, más pequeños, sirven para modificar la forma de la lengua y ayudar a los extrínsecos en los movimientos de precisión, como los desarrollados al hablar.

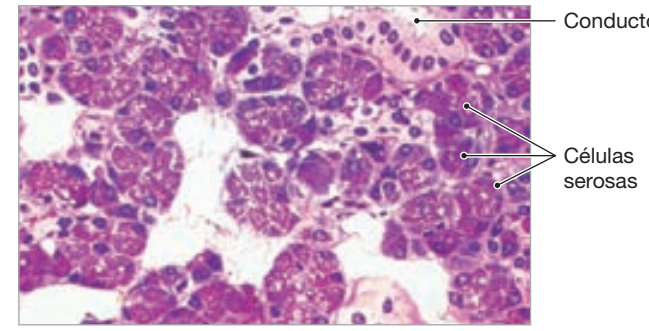
Glándulas salivales [v. figuras 25.5/25.6]

Son tres los pares de glándulas salivales que emiten sus secreciones a la cavidad oral (v. figura 25.6). Cada una de estas glándulas está rodeada por una cápsula fibrosa. La saliva producida por las células secretoras de las glándulas es transportada a través de una red de finos conductos hacia un único tubo de drenaje mayor. Este conducto principal atraviesa la cápsula y se abre a la superficie de la cavidad oral. Las glándulas salivales se describen en los términos siguientes:

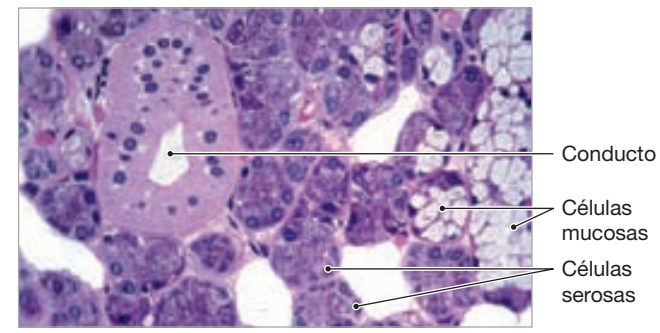
1. Las **glándulas salivales parótidas** son las de mayor tamaño, con un peso medio de unos 20 g. Son de forma irregular y se extienden entre la super-



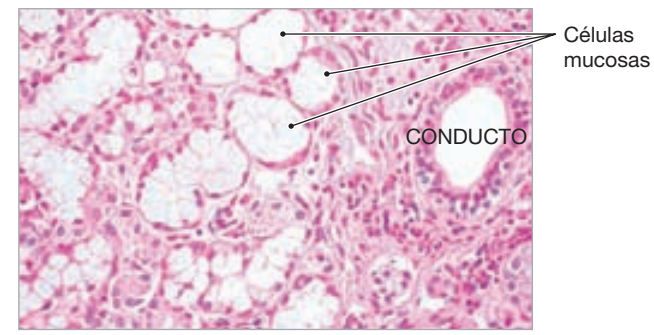
(a) Vista lateral tras retirar el cuerpo y la rama de la mandíbula izquierda



Glándula salival parótida MO × 316



Glándula salival submandibular MO × 303



Glándula salival sublingual MO × 316

(b) Histología de las glándulas salivales

Figura 25.6 Glándulas salivales
(a) Imagen lateral que muestra las posiciones relativas de las glándulas salivales y sus conductos en el lado izquierdo de la cabeza. Parte de la mitad izquierda de los órganos de la cara y de la rama izquierda de la mandíbula han sido retirados. Para apreciar las posiciones de los conductos en la cavidad oral, *véase figura 25.5.*
(b) Detalle histológico de las glándulas salivales parótida, submandibular y sublingual. La parótida produce una saliva rica en enzimas. En ella predominan las células secretoras serosas. La submandibular produce una saliva rica en enzimas y mucinas y contiene células secretoras, tanto serosas como mucosas. La saliva de la sublingual es rica en mucinas y en ella predominan las células secretoras mucosas.

ficie inferior del arco cigomático y el borde anterior del músculo esternocleidomastoideo, y de la apófisis mastoides al hueso temporal en sentido anterior, a través de la cara superficial del músculo masetero. Las secreciones de cada glándula drenan por un **conducto parotídeo,** o *conducto de Stensen,* que se abre en el vestíbulo, a nivel del segundo premolar superior (v. figura 25.5a).

2. Las **glándulas salivales sublinguales** están revestidas por la membrana mucosa del suelo de la boca. Numerosos **conductos sublinguales,** o *conductos de Rivinus,* se abren a ambos lados del frenillo de la lengua (v. figura 25.6a).
3. Las **glándulas salivales submandibulares** se localizan en el suelo de la boca, junto a las superficies mediales de la mandíbula, por debajo de la *línea milohioidea* [p. 151]. Los **conductos submandibulares,** o *conductos de Wharton,* se abren a ambos lados del frenillo, inmediatamente por detrás de los dientes (v. figura 25.5b). El aspecto histológico de la glándula submandibular se puede apreciar en la figura 25.6b.

Cada tipo de glándula salival presenta una organización celular diferenciada y produce una saliva de propiedades ligeramente distintas. Por ejemplo, las parótidas generan una secreción serosa densa que contiene la enzima digestiva **amilasa salival,** encargada de comenzar la descomposición de los carbohidratos complejos. La saliva es una mezcla de secreciones glandulares. En torno al 70% de ella se origina en las glándulas submandibulares, el 25% en las parótidas y el 5% en las sublinguales. En conjunto, las glándulas salivales producen de 1 a 1,5 L al día de saliva, compuesta en un 99,4% de agua y con diversos iones, tampones, metabolitos y enzimas. Las glucoproteínas denominadas *mucinas* son las principales responsables de los efectos lubricantes de la saliva [pp. 58-59].

Durante las comidas, la producción de grandes cantidades de saliva permite la lubricación y humidificación del alimento y la disolución de los agentes químicos que estimulan los botones gustativos. Un nivel continuo de secreción mantiene la hidratación de las superficies orales de la boca y ayuda a controlar la población de bacterias orales. La reducción o eliminación de las secreciones salivales produce un rápido crecimiento bacteriano en la cavidad oral. Tal proliferación da lugar a infecciones recurrentes y a la progresiva erosión de dientes y encías.

Regulación de las glándulas salivales

Las secreciones salivales están controladas por el sistema nervioso autónomo. Cada una de las glándulas salivales recibe inervación tanto parasimpática como simpática. Cualquier material que es introducido en la boca desencadena un reflejo salival, estimulando los receptores que son controlados por el nervio trigémino, o bien estimulando los botones gustativos, que están inervados por NC VIII, NC IX o NC X [pp. 421, 479]. La estimulación parasimpática produce la aceleración de la secreción del conjunto de las glándulas salivales, lo que da lugar a la producción de grandes cantidades de saliva acuosa. Por el contrario, la activación simpática determina la secreción de un volumen reducido de saliva viscosa, con altas concentraciones enzimáticas. Este volumen reducido produce una sensación de sequedad en la boca.

Nota clínica

Parotiditis El virus de la **parotiditis** ataca preferentemente a las glándulas salivales, sobre todo a las parótidas, aunque también otros órganos resultan infectados. La infección es más frecuente entre los 5 y los 9 años. La primera exposición al virus estimula la producción de anticuerpos y suele conferir inmunidad permanente por inmunización. En varones postadolescentes, el virus de la parotiditis infecta también los testículos, causando esterilidad. La infección del páncreas por este virus produce en ocasiones diabetes temporal o permanente. En casos graves también se ven afectados otros sistemas, como el SNC. Se dispone de una vacuna eficaz contra el virus, cuya distribución generalizada ha eliminado prácticamente esta enfermedad en EE. UU.

Dientes [v. figura 25.7a]

Los movimientos de la lengua son importantes para que el alimento pase por la superficie de los dientes. Estos son los encargados de la **masticación** del alimento, que rompe el tejido conjuntivo animal y las fibras vegetales de los alimentos y ayuda a saturar el material masticado con secreciones salivales y enzimáticas.

En la figura 25.7a aparece una representación en sección del diente de un adulto. La masa dentaria está constituida por una matriz mineralizada similar al hueso. Este material, llamado **dentina,** se distingue del hueso en que no contiene células vivas. En cambio, los procesos citoplasmáticos se extienden en la dentina a partir de las células de la **cavidad pulpar** central, esponjosa y muy vascularizada. Recibe vasos sanguíneos e innervación a través de un estrecho túnel, el **conducto radicular,** localizado en la base o **raíz** del diente. La **arteria dentaria,** la **vena dentaria** y el **nervio dentario** penetran en el conducto radicular a través del **orificio apical** para alcanzar la cavidad pulpar.

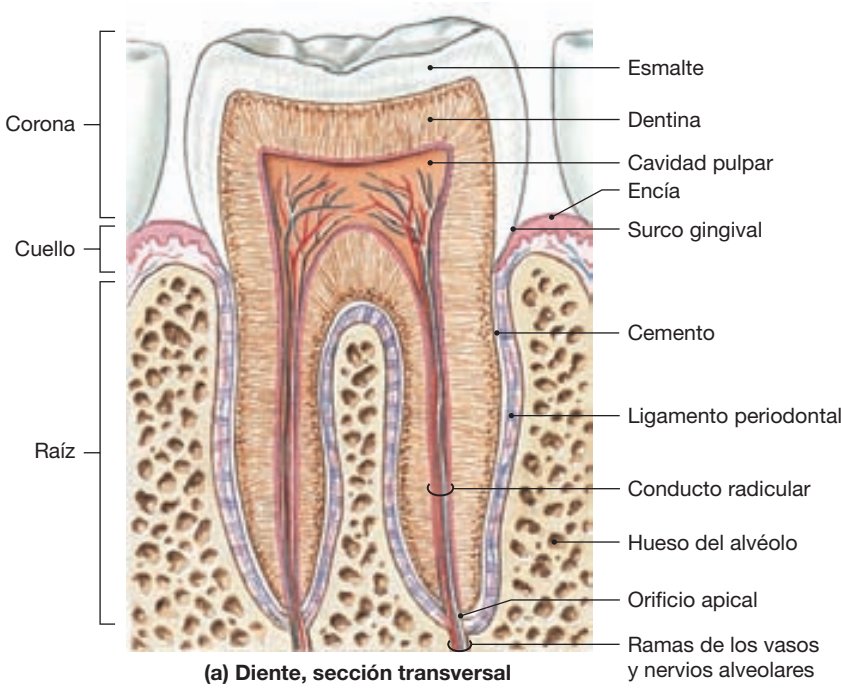
La raíz del diente se encuentra fijada en una cavidad del hueso, el *alvéolo.* Las fibras de colágeno del **ligamento periodontal** se extienden desde la dentina de la raíz hasta el hueso alveolar, creando una sólida articulación conocida como *gonfosis* [p. 206]. Una capa de **cemento** cubre la dentina de la raíz, aportando protección y una fijación firme para el ligamento periodontal. Este cemento es muy similar en su estructura histológica al hueso y menos resistente a la erosión que la dentina.

El **cuello** del diente marca la delimitación entre la raíz y la **corona.** Esta es la porción visible del diente que se proyecta por encima del tejido blando de la encía. Las células epiteliales del **surco gingival** forman firmes fijaciones al diente por encima de su cuello, previniendo el acceso de bacterias a la lámina propia de la encía o al tejido relativamente blando del cemento de la raíz. Si esta fijación se rompe, puede producirse *gingivitis,* es decir, infección bacteriana de la encía.

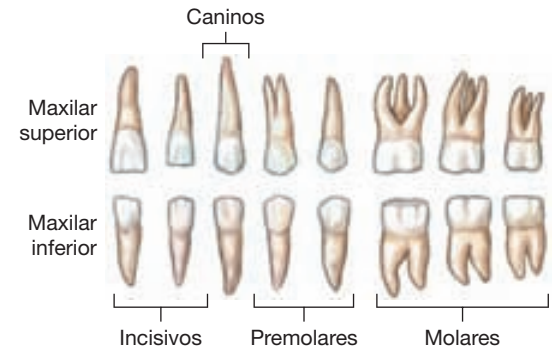
La dentina de la corona se encuentra cubierta por una capa de **esmalte.** El esmalte contiene cristales de fosfato cálcico de empaquetamiento compacto y constituye la sustancia de origen biológico más dura. Durante la infancia, es esencial el aporte de cantidades adecuadas de calcio, fosfatos y vitamina D para que el revestimiento de esmalte se mantenga íntegro y resistente a las caries.

Tipos de dientes [v. figura 25.7b,c] Hay cuatro tipos de dientes, cada uno de ellos con una función específica (v. figura 25.7b,c):

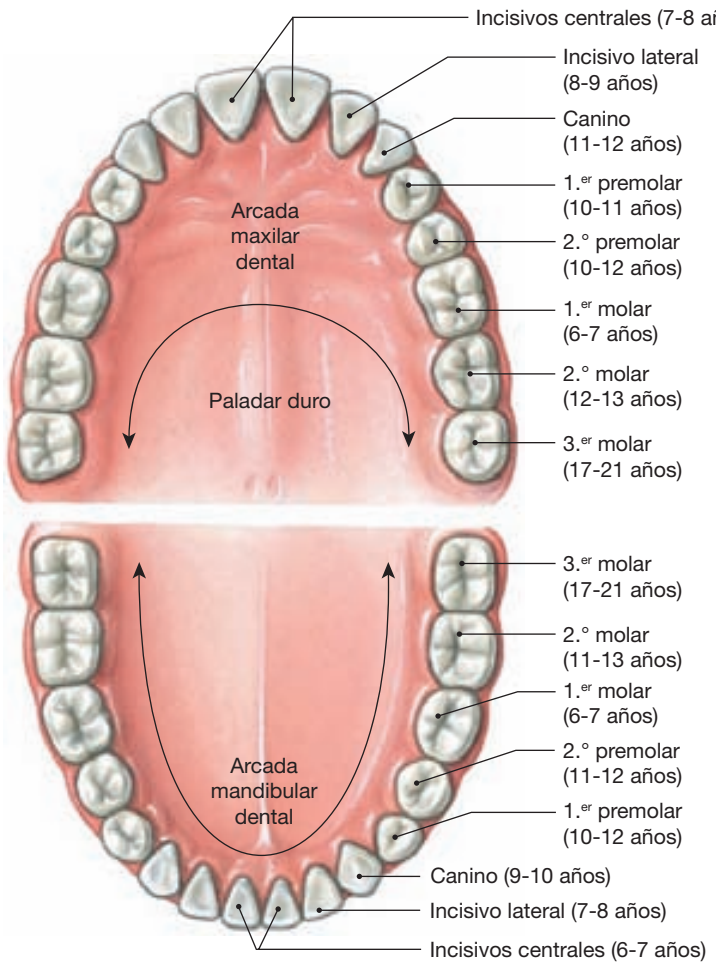
1. Los **incisivos** son dientes de borde cortante que se disponen en la parte frontal de la boca. Son útiles para hendir o cortar, por ejemplo al masticar una zanahoria cruda.
2. Los **caninos** *(cúspides)* tienen una forma cónica, con un borde agudo y terminación en punta. Se utilizan para desgarrar o separar. Por ejemplo, un tallo de apio puede ser ablandado por la acción cortante de los incisivos, pero suele tener que ser desgarrado por el efecto de cizallamiento que generan los caninos. Tanto los incisivos como los caninos presentan una sola raíz.
3. Los **premolares** *(bicúspides)* pueden presentar tanto una como dos raíces. Tienen una corona con una parte superior aplanada pero presentan prominentes crestas. Este tipo de dientes se utilizan para machacar y triturar el alimento.
4. Los **molares** presentan superficies aplanadas mayores que los anteriores, con crestas prominentes y con tres o más raíces. Tienen funciones similares a las de los premolares.



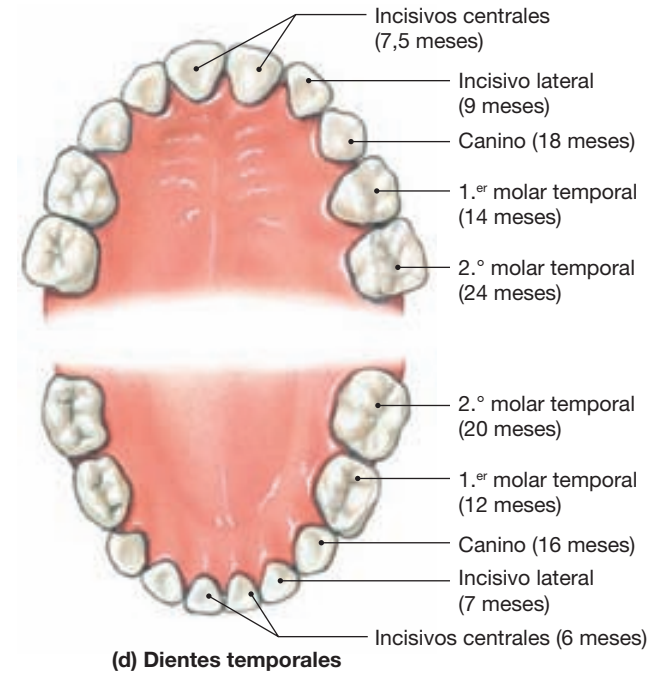
(a) Diente, sección transversal



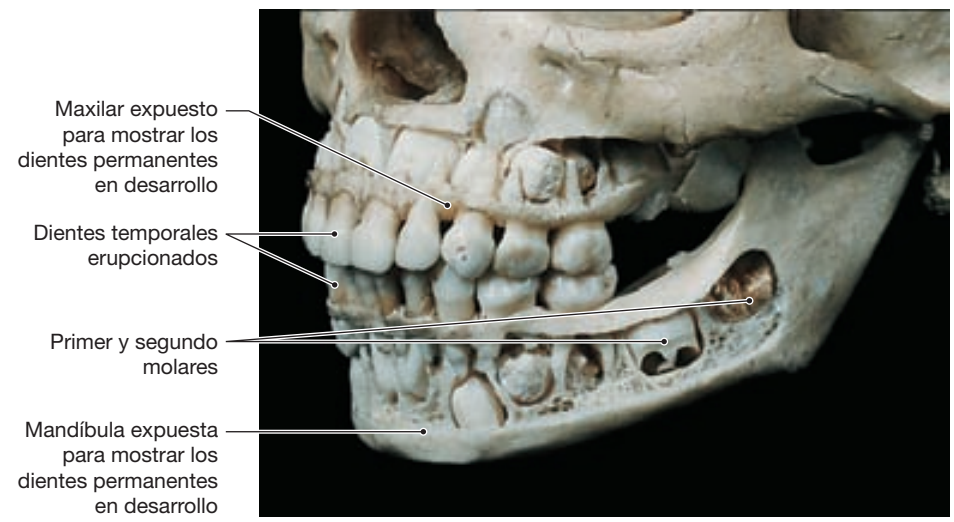
(b) Dientes superiores e inferiores del adulto



(c) Dientes del adulto, maxilares superior e inferior


Incisivos centrales (7,5 meses)
Incisivo lateral (9 meses)
Canino (18 meses)
1.er molar temporal (14 meses)
2.° molar temporal (24 meses)
2.° molar temporal (20 meses)
1.er molar temporal (12 meses)
Canino (16 meses)
Incisivo lateral (7 meses)
Incisivos centrales (6 meses)

(d) Dientes temporales


Maxilar expuesto para mostrar los dientes permanentes en desarrollo
Dientes temporales erupcionados
Primer y segundo molares
Mandíbula expuesta para mostrar los dientes permanentes en desarrollo

(e) Huesos de la mandíbula y el maxilar con dientes sin erupcionar expuestos

Figura 25.7 Dientes

Los dientes se encargan de la masticación del alimento. **(a)** Sección esquemática del diente de un adulto. **(b)** Dientes del adulto. **(c)** Orientación normal de los dientes del adulto. Entre paréntesis aparece el intervalo normal de edades de erupción de cada tipo de diente. **(d)** Dientes temporales con la edad de erupción expresada en meses. **(e)** Cráneo de un niño de 4 años, con el maxilar y la mandíbula recortados para exponer los dientes permanentes no erupcionados.

Denticiones sucesivas [v. figura 25.7c,d,e] Durante el desarrollo, se suceden dos conjuntos de dientes. Los primeros en aparecer son los dientes **temporales,** también llamados *deciduos, primarios, caducos o de leche.* Se trata de piezas dentales temporales que conforman la **dentición primaria** (v. figura 25.7d,e). Generalmente consta de 20 dientes, cinco a cada lado de ambas arcadas dentarias. Los maxilares superior e inferior de los adultos tienen espacio para más piezas dentales, por lo que tres molares suplementarios aparecen a cada lado de las arcadas cuando la persona crece. Estos dientes hacen que la dentición ocupe más espacio en su parte posterior, llegando a un total de 32 dientes.

A cada lado del los maxilares superior e inferior, la dentición primaria consiste en dos incisivos, un canino, y un par de molares deciduos. Estas piezas van siendo reemplazadas de forma gradual por las piezas de la dentición permanente.

La figura 25.7c,d indica la secuencia de erupción de la dentición primaria y las edades aproximadas a las que cada pieza es reemplazada. En este proceso, los ligamentos periodontales de los dientes deciduos son erosionados hasta que caen o son empujados por la **erupción** de los dientes permanentes. Los premolares adultos ocupan el lugar de los molares deciduos y los molares van ampliando la extensión de la dentadura a medida que los maxilares aumentan de tamaño. Los terceros molares, o *muelas del juicio,* pueden no erupcionar hasta los 21 años, o incluso no hacerlo en absoluto. Es frecuente que estos últimos se desarrollen en posiciones inadecuadas y que no erupcionen correctamente.

Marco dentario de referencia [v. figura 25.7b,c] Las filas de dientes superiores e inferiores forman sendas **arcadas dentarias.** Las posiciones relativas sobre cada una de las *arcadas* se indican utilizando una terminología especial (v. figura 25.7b,c). De este modo, el término **labial** o **bucal** hace referencia a la superficie externa de la arcada dentaria, adyacente a labios o mejillas. Los términos **palatino** (superior) o **lingual** (inferior) se refieren a las superficies internas de las arcadas, en tanto que los calificativos **mesial** o **distal** aluden a las superficies de oposición entre los dientes en una misma arcada dentaria. La superficie medial queda enfrentada en la dirección más alejada del último molar, en tanto que la superficie distal es la enfrentada en la dirección opuesta a la del primer incisivo. Por ejemplo, la superficie mesial de cada uno de los caninos se enfrenta a la superficie distal del segundo incisivo. Las **superficies oclusales** de los dientes son las que se enfrentan a las de sus equivalentes en la *arcada dentaria* opuesta. Estas superficies oclusales son las encargadas de cortar, desgarrar, desmenuzar y machacar los alimentos.

Masticación Los músculos de la masticación favorecen la aproximación de los maxilares y el movimiento de la mandíbula [p. 268]. Durante la masticación, el alimento se desplaza hacia atrás y hacia delante entre el vestíbulo y el resto de la cavidad oral, pasando una y otra vez por las superficies oclusales de los dientes. Este movimiento es consecuencia en parte de la acción de los músculos masticatorios, aunque su control resultaría imposible sin la participación de los músculos bucales, labiales y linguales. Una vez que el material es triturado hasta alcanzar una consistencia satisfactoria y humedecido con las secreciones salivales, la lengua comienza a compactar los residuos para formar una pequeña masa oval, o **bolo,** que puede ser deglutida.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué tipo de epitelio reviste la cavidad oral?
2. ¿Cuáles son las funciones de la saliva?
3. ¿Qué nutrientes inician su descomposición química en la boca?
4. Imagine que está comiendo una manzana. Resuma las acciones de los dientes implicados.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Faringe

La faringe actúa como vía de paso de alimento, líquidos y aire. El revestimiento epitelial y las divisiones de la faringe, la nasofaringe, la orofaringe y la laringofaringe, se describen e ilustran en el capítulo 24 [p. 634]. Bajo la lámina propia de la mucosa se sitúa una densa capa de fibras elásticas, fijadas a los músculos estriados subyacentes. Los músculos faríngeos específicos implicados en la deglución, que se resumen a continuación, son analizados en detalle en el capítulo 10 [p. 269].

- Los *constrictores faríngeos* (superior, medio e inferior) empujan el bolo hacia el esófago.
- Los *músculos palatofaríngeo* y *estilofaríngeo* elevan la laringe.
- Los *músculos palatinos* elevan el paladar blando y las partes adyacentes de la pared faríngea.

Los músculos faríngeos cooperan con los de la cavidad oral y el esófago para iniciar el proceso de **deglución.**

Proceso de la deglución [v. figura 25.8]

La deglución constituye un proceso complejo cuyo inicio es controlado de forma voluntaria, aunque se convierte en involuntario una vez que ha comenzado [pp. 269-270]. En él pueden diferenciarse las *fases bucal, faríngea* y *esofágica*. Los aspectos fundamentales de cada fase se resumen en la figura 25.8.

Nota clínica

Acalasia, esofagitis y ERGE En el proceso conocido como **acalasia,** un bolo deglutido desciende por el esófago de forma relativamente lenta, como consecuencia de ondas peristálticas anormalmente débiles, y no da lugar a la apertura del esfínter esofágico inferior. La materia se acumula, pues, en la base del esófago, como en un atasco de tráfico. Es posible que se generen ondas peristálticas secundarias repetidas, que producen molestias a quien las padece. El tratamiento más eficaz de esta patología consiste en debilitar el esfínter esofágico inferior, bien cortando la capa de músculo circular situada en la base del esófago o bien introduciendo en el esófago inferior una sonda de balón que desgarre la capa muscular.

Después de las comidas, es frecuente que se produzca un reflujo breve y limitado del contenido del estómago hacia la parte inferior del esófago; la incidencia de este cuadro aumenta en casos de obesidad abdominal y embarazo, o cuando una persona se echa después de una comida abundante. Un esfínter debilitado o permanentemente relajado puede dar lugar a un reflujo frecuente y prolongado causante de **esofagitis,** es decir, de inflamación del esófago por contacto con los ácidos fuertes del estómago. El epitelio esofágico tiene pocas defensas contra el ataque de ácidos y enzimas. Ello induce inflamación, erosión epitelial y molestias intensas. Los episodios frecuentes de flujo retrógrado determinan el desarrollo de **enfermedad por reflujo gastroesofágico (ERGE),** que genera síntomas de ardor epigástrico. En ciertas personas, la simple elevación de la cabecera de la cama reduce la ERGE en igual medida que los medicamentos. Algunos afectados de ERGE presentan tos o problemas de garganta y pulmonares, presumiblemente debidos al flujo de los jugos gástricos al esófago y a la aspiración de ellos a la tráquea. No obstante, la tos puede favorecer el reflujo esofágico, por lo que la reacción causa-efecto no queda clara.

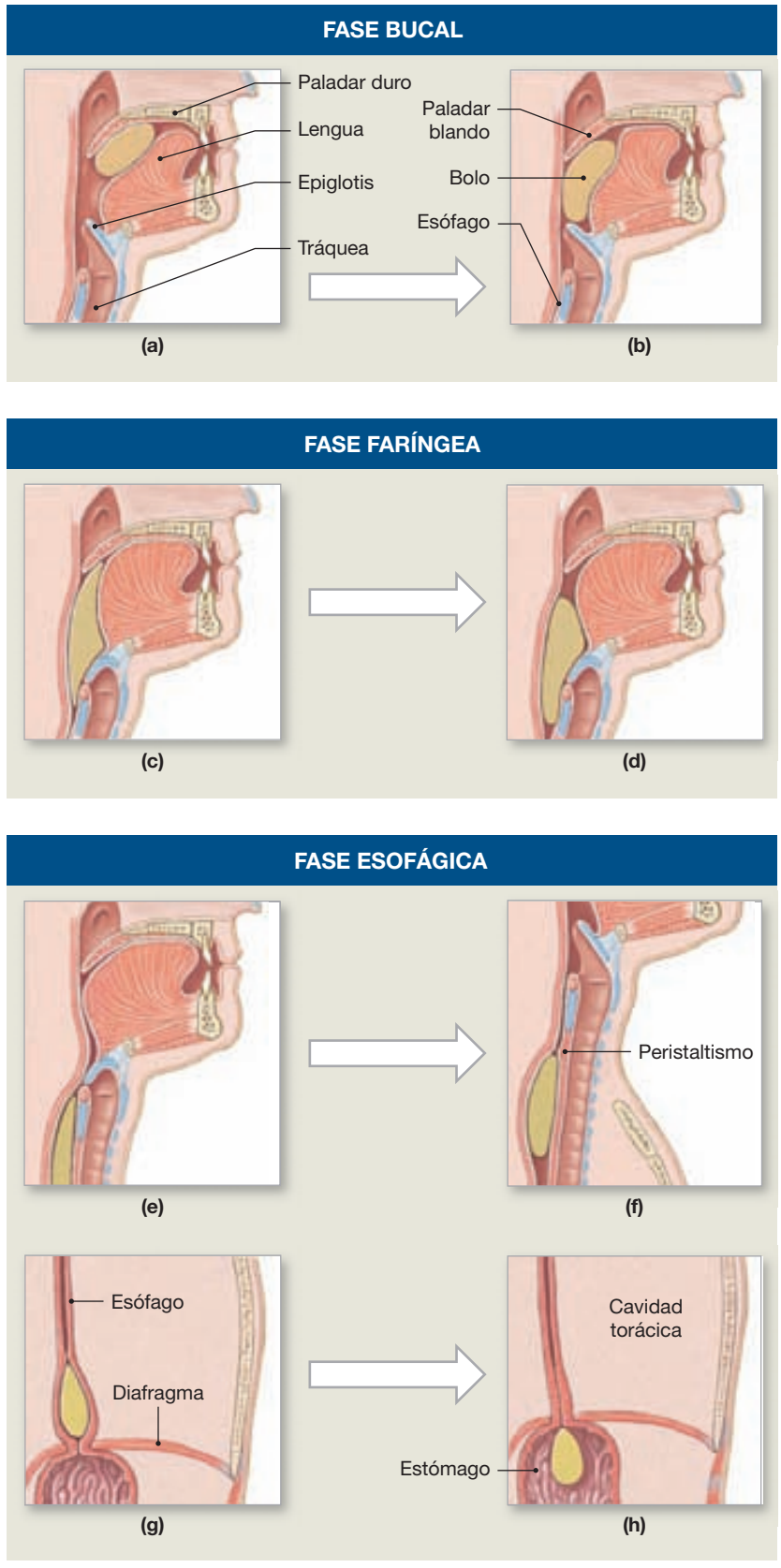


Figura 25.8 Proceso de deglución
Esta secuencia, basada en una serie radiográfica, muestra las etapas de la deglución y el desplazamiento de la materia de la boca al estómago: fase bucal **(a,b),** fase faríngea **(c, d),** y fase esofágica **(e-h).**

1. La **fase bucal** se inicia con la compresión del bolo contra el paladar duro. La posterior retracción de la lengua impulsa a continuación el bolo hacia la faringe y contribuye a la elevación del paladar blando por acción de los músculos palatinos, aislando así la nasofaringe (v. figura 25.8a,b). La fase bucal es estrictamente voluntaria. Sin embargo, una vez que el bolo entra en la orofaringe, se inician los reflejos involuntarios y el bolo es impulsado hacia el estómago.
2. La **fase faríngea** se inicia en el momento en que el bolo entra en contacto con los arcos palatinos, la pared faríngea posterior o ambos (v. figura 25.8c,d). La elevación de la laringe, por acción de los músculos palatofaríngeo y estilofaríngeo, y el pliegue de la epiglotis, impulsan el bolo por detrás de la glotis cerrada. En menos de un segundo, los músculos constrictores faríngeos han impulsado el bolo hasta el esófago. Durante el tiempo en el que el bolo pasa a la faringe y al esófago, los centros respiratorios se mantienen inhibidos y la respiración cesa [p. 649].
3. La **fase esofágica** de la deglución (v. figura 25.8e-g) se inicia con la abertura del **esfínter esofágico superior.** Después de pasar por el esfínter abierto, el bolo es impulsado a lo largo del esófago por las ondas peristálticas. La aproximación del bolo hace que se abra el **esfínter esofágico** inferior, más débil, que a da paso al estómago (v. figura 25.8g-h).

Esófago [v. figuras 25.1/25.8]

El **esófago** (v. figura 25.1, p. 657) es un tubo muscular hueco que trasporta el alimento y los líquidos al estómago. Localizado detrás de la tráquea (v. figura 25.8), pasa a lo largo de la pared dorsal del mediastino en la cavidad torácica y entra en la cavidad peritoneal a través de una abertura en el diafragma, el **hiato esofágico,** antes de desembocar en el estómago [p. 278]. El esófago mide aproximadamente 25 cm de largo y unos 2 cm de diámetro. Se inicia a nivel del cartílago cricoides anterior a la sexta vértebra y termina en posición anterior a la séptima vértebra torácica.

El esófago recibe sangre de las arterias esofágicas y de ramas de: 1) el *tronco tirocervical* y las *arterias carótidas externas* del cuello; 2) las *arterias bronquiales* y las *arterias esofágicas* del mediastino, y 3) la *arteria frénica inferior* y la *arteria gástrica izquierda* del abdomen. El flujo venoso procedente de los capilares esofágicos es recogido por las *venas tiroidea inferior, ácigos* y *gástrica*. El esófago es inervado por los troncos vago y simpático a través del *plexo esofágico* [pp. 463, 588-589]. Ni la parte superior ni la inferior del esófago presentan un músculo esfinteriano bien definido, comparable a los localizados en otros órganos del tubo digestivo. No obstante, para describir estas áreas se utilizan los términos *esfínter esofágico superior* y *esfínter esofágico inferior (escotadura cardíaca)*, ya que son similares en su función a otros esfínteres.

Histología de la pared esofágica
[v. figuras 25.2/25.9]

La pared del esófago presenta capas mucosa, submucosa y muscular, comparables a las descritas previamente (v. figura 25.2, p. 658). Hay diversos rasgos característicos propios de la pared esofágica, que se muestran en la figura 25.9:

- La mucosa del esófago contiene un epitelio escamoso estratificado resistente a la abrasión.
- La mucosa y la submucosa forman amplios pliegues que se extienden por toda la longitud del esófago. Dichos pliegues permiten la expansión durante el paso de un bolo de grandes dimensiones. Excepto durante la deglución, el tono muscular de las paredes hace que la luz esofágica esté cerrada.
- La capa de músculo liso de la muscular de la mucosa puede ser muy delgada, o incluso estar ausente, cerca de la faringe; sin embargo se va haciendo gradualmente más gruesa, hasta alcanzar los 200-400 μm cerca del estómago.
- La submucosa contiene *glándulas esofágicas* dispersas. Estas glándulas tubulares, simples o ramificadas, producen una secreción mucosa que lubrica el bolo y protege el epitelio.

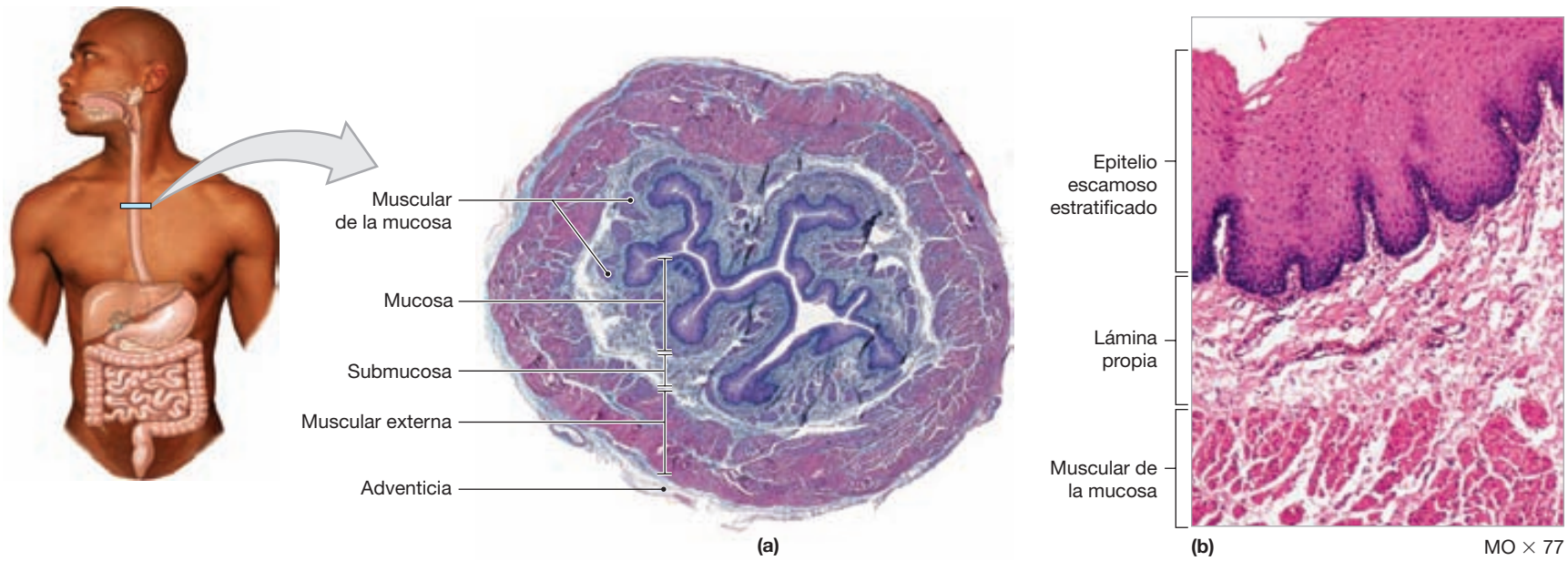


Figura 25.9 Histología del esófago
(a) Imagen a bajo aumento de una sección del esófago. **(b)** Mucosa esofágica.

- La muscular propia presenta una capa muscular circular interna y una longitudinal externa. En el tercio superior del esófago ambas capas contienen fibras de músculo estriado, mientras que en el tercio inferior sólo hay músculo liso. Los músculos estriado y liso del esófago son regulados por reflejos viscerales, sin control voluntario de sus contracciones.
- No hay capa serosa. Una capa de tejido conjuntivo exterior a la muscular propia mantiene fijado el esófago contra la pared dorsal del cuerpo. Esta capa fibrosa externa se denomina *adventicia*. En los 1-2 cm comprendidos entre el diafragma y el estómago, el esófago es retroperitoneal y está cubierto por el peritoneo en las superficies anterior y lateral.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Dónde están las fauces?
2. ¿Qué ocurre cuando el paladar blando y la laringe están elevados y la glotis se cierra?
3. ¿Qué fase de la deglución es voluntaria?
4. Cuando una persona experimenta ardor epigástrico, ¿qué está sucediendo en el esófago?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Estómago

El estómago desarrolla tres funciones principales: 1) almacenamiento de alimentos; 2) descomposición mecánica del alimento ingerido, y 3) digestión química del mismo mediante la rotura de los enlaces químicos con ácidos y enzimas. Esta mezcla de las sustancias ingeridas con los ácidos y las enzimas secretadas por las glándulas del estómago produce una sustancia de consistencia viscosa y caldosa, fuertemente ácida, llamada **quimo.**

Anatomía del estómago [v. figuras 25.10 a 25.12]

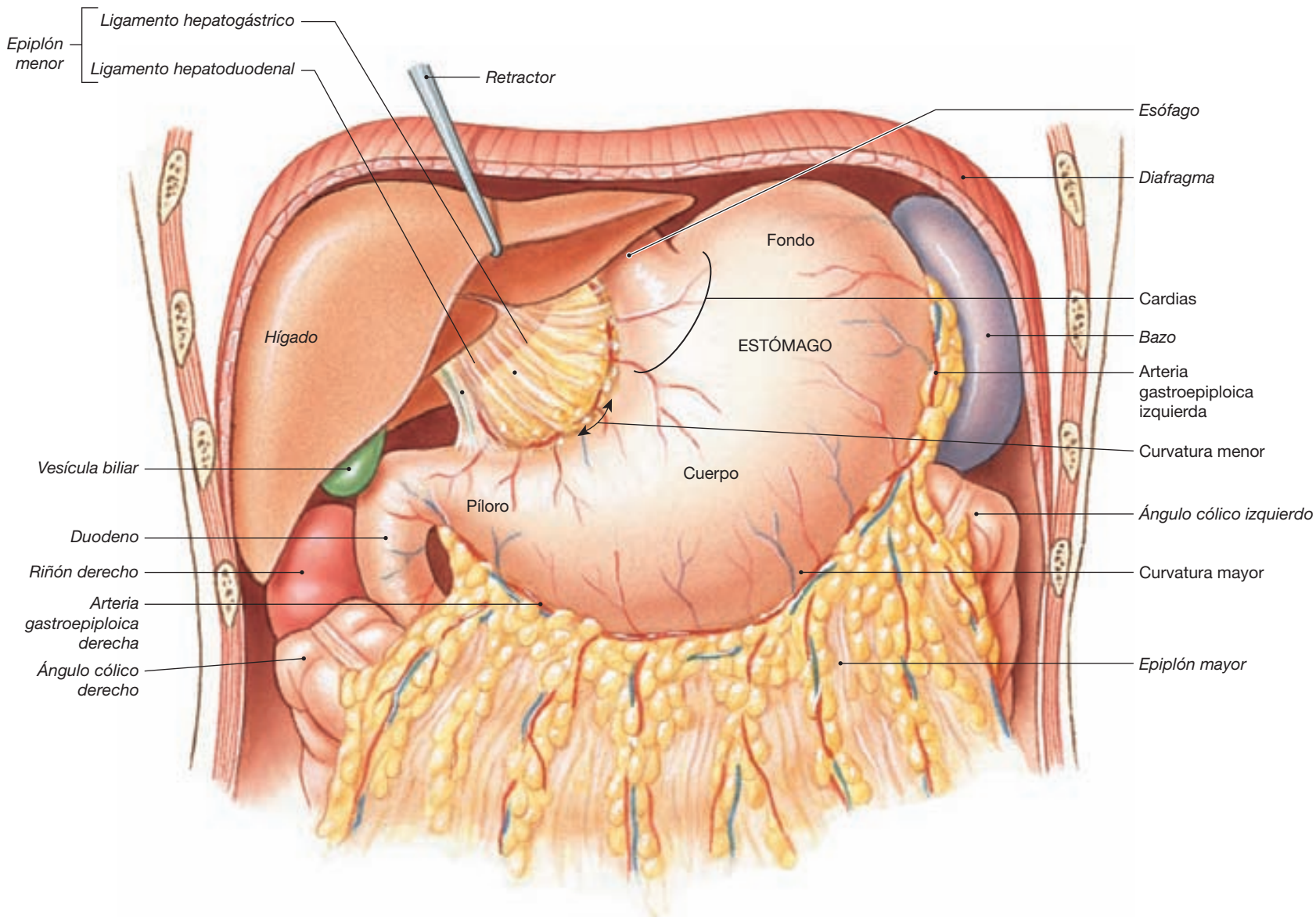
El estómago, que es un órgano intraperitoneal, presenta forma de J engrosada (v. figuras 25.10 y 25.11). Ocupa las *regiones hipocondríaca izquierda, epigástrica* y, en parte, *umbilical* y *lumbar izquierda* (v. figura 25.12). Sus formas y tamaños son variables de una persona a otra y entre una comida y la siguiente.

La bolsa en forma de J presenta una **curvatura menor,** pequeña y que constituye la **superficie medial** del órgano, y una **curvatura mayor,** más larga que conforma su **superficie lateral.** En un estómago medio, la curvatura menor presenta una longitud de unos 10 cm, mientras que la mayor mide unos 40 cm. Las **superficies anterior** y **posterior** son uniformemente redondeadas. El estómago se suele extender entre los niveles de las vértebras séptima dorsal y tercera lumbar.

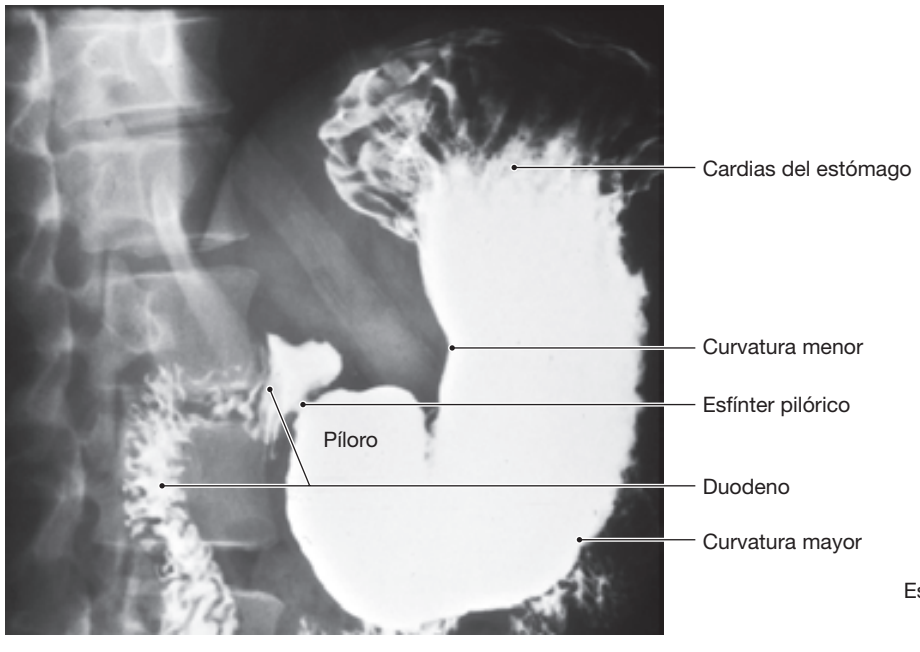
El estómago está dividido en las cuatro regiones siguientes (v. figuras 25.10 y 25.11):

1. El esófago entra en contacto con la superficie medial del estómago en el **cardias,** así denominado por su proximidad al corazón. El cardias conforma la porción superior medial del estómago y cubre un área de unos 3 cm, en la unión de este con el esófago. La luz esofágica se abre al cardias en el **orificio cardial.**
2. La región del estómago situada por encima de la unión gastroesofágica es el **fondo,** que está en contacto con las superficies inferior y posterior del diafragma.
3. El área comprendida entre el fondo y la curva de la J es el **cuerpo** del estómago. El cuerpo es la región más extensa del estómago y funciona como un tanque de mezclado de los alimentos ingeridos y las secreciones gástricas.
4. El **píloro** es la curva de la J. Se divide en *antro pilórico*, unido al cuerpo del estómago, y *conducto pilórico*, conectado al *duodeno*, el segmento proximal del intestino delgado. Mientras se producen los movimientos de mezclado durante la digestión, el píloro cambia a menudo de forma. El **esfínter pilórico** regula la liberación de quimo a través del **orificio pilórico** al duodeno.

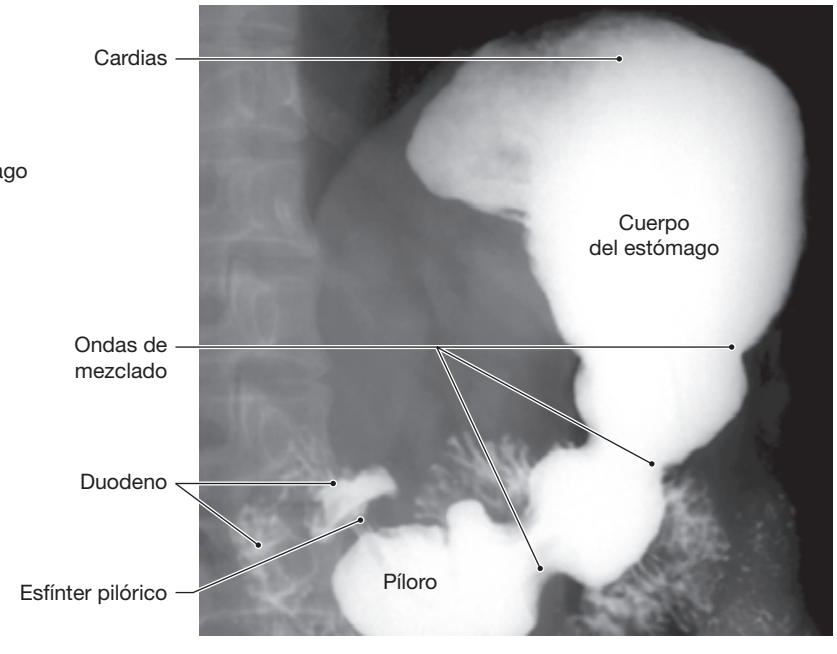
El volumen del estómago aumenta tras las comidas y disminuye cuando el quimo sale de él y pasa al intestino delgado. En el estómago relajado (vacío), la mucosa presenta numerosos pliegues longitudinales prominentes, los llamados **pliegues gástricos** (v. figura 25.11a). Los pliegues permiten la expansión de la luz del estómago. Cuando esta expansión se produce, el revestimiento epitelial, que no puede tensarse, se alisa y los pliegues se hacen menos pronunciados. En el estómago lleno prácticamente desaparecen.



(a) Estómago, vista anterior



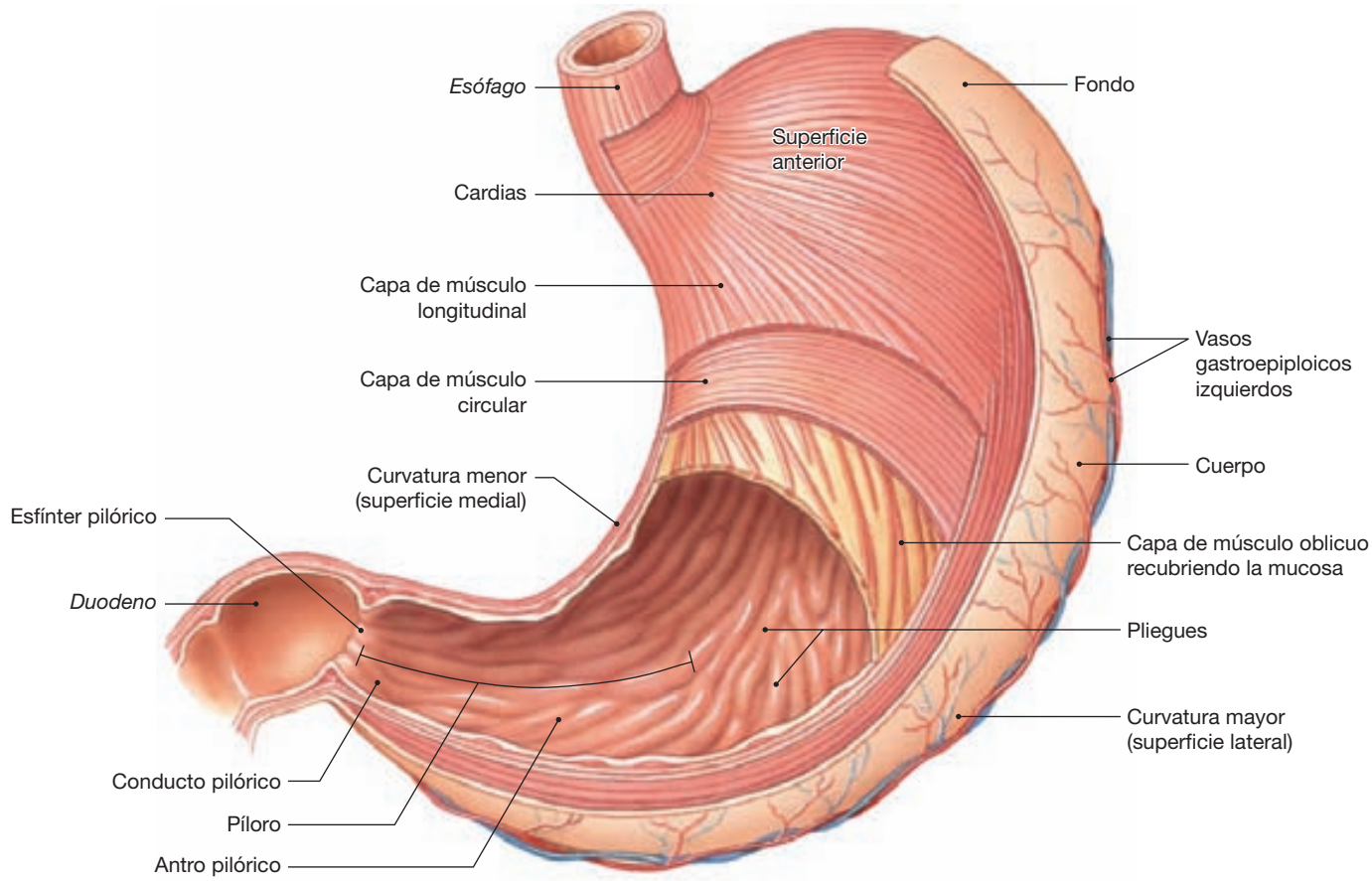
(b) Radiografía, estómago y duodeno



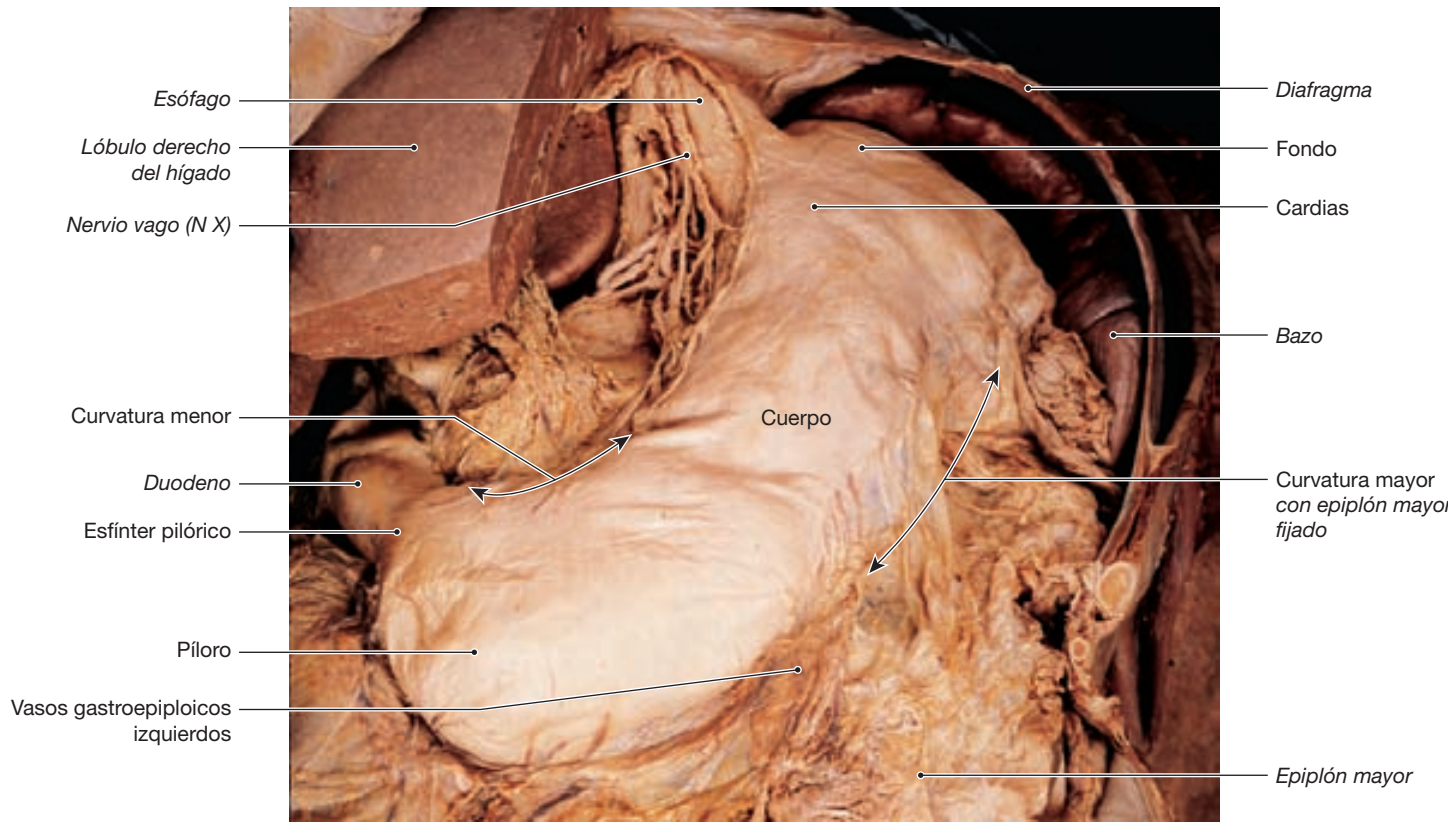
(c) Radiografía, región pilórica

Figura 25.10 Estómago y epiplones

(a) Anatomía superficial del estómago, que muestra los vasos sanguíneos y la correlación con el hígado y los intestinos.
(b) Radiografía del estómago y el duodeno tras ingestión de una solución de bario para aumentar el contraste.
(c) Radiografía de la región pilórica, la válvula pilórica y el duodeno.



(a) Estómago, vista anterior



(b) Vista anterior del estómago y los órganos adyacentes

Figura 25.11 Anatomía macroscópica del estómago

(a) Anatomía externa e interna del estómago. **(b)** Imagen anterior de la posición superior de la cavidad abdominal tras la retirada del lóbulo izquierdo del hígado y del epiplón menor. Obsérvense la posición y la orientación del estómago.

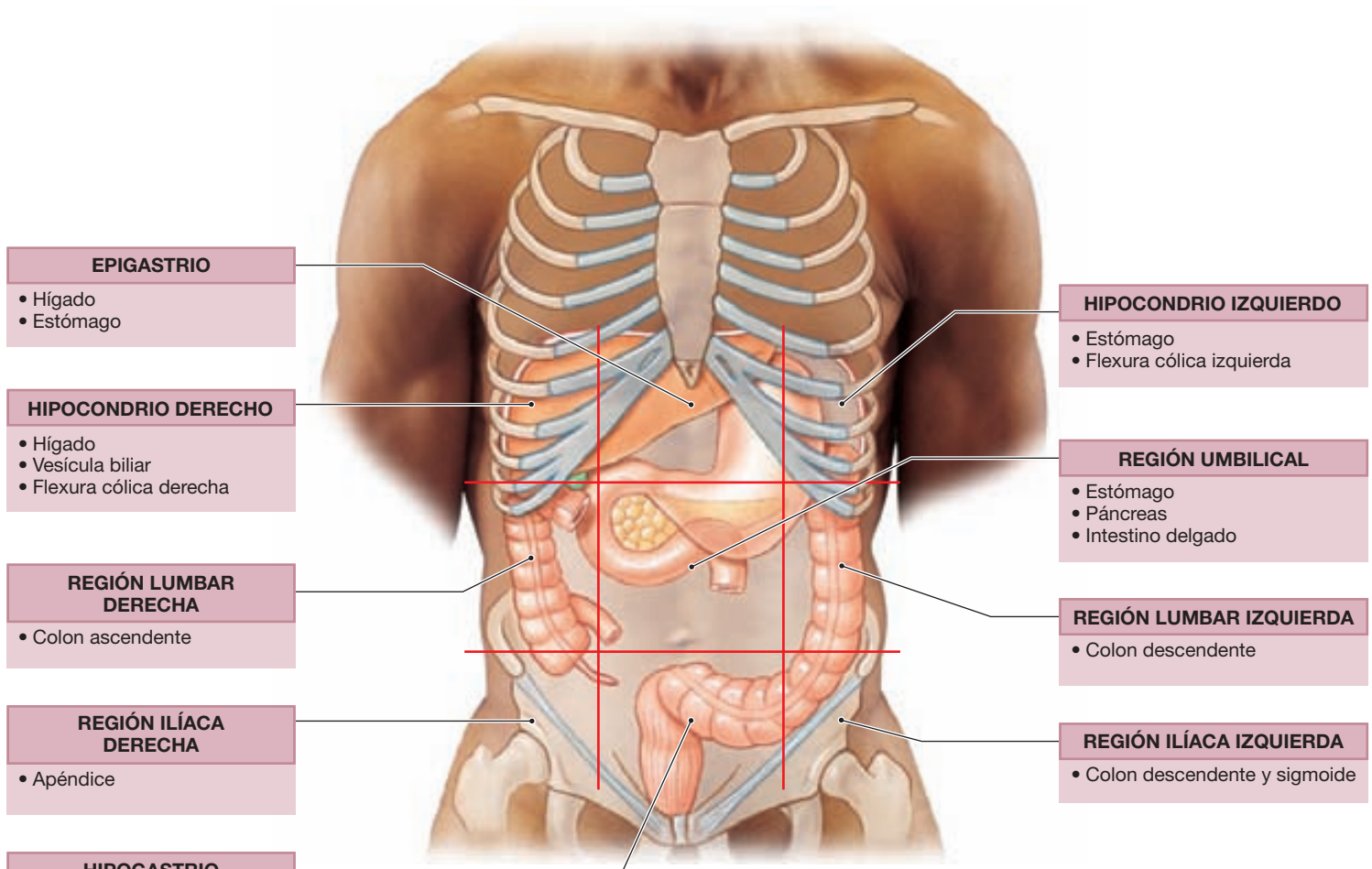


Figura 25.12 **Regiones y planos abdominales**

Mesenterios del estómago [v. figuras 25.4/25.10a]

El peritoneo visceral que cubre la superficie exterior del estómago tiene continuidad en dos prominentes mesenterios. El *epiplón* u *omento mayor* forma una gran amplia bolsa que cuelga a modo de delantal desde la curvatura mayor del estómago. Este epiplón se sitúa detrás de la pared abdominal anterior y delante de las vísceras abdominales (**v. figuras 25.4**, p. 661, y **25.10a**).

El tejido adiposo del epiplón mayor perfila la forma de los órganos a él adyacentes y aporta un efecto de almohadillado y protección de las superficies anterior y lateral del abdomen. Los lípidos de este tejido constituyen una importante reserva de energía y proporcionan aislamiento para reducir la pérdida de calor a través de la pared abdominal anterior. El *epiplón* u *omento menor* es una saculación mucho más pequeña que está situada en el mesenterio ventral, entre la curvatura menor del estómago y el hígado. El epiplón menor estabiliza la posición del estómago y aporta una vía de acceso de los vasos sanguíneos y otras estructuras que entran o salen del hígado.

Irrigación del estómago [v. figuras 22.17/22.26/25.10a]

Las tres ramas del tronco celíaco aportan la irrigación arterial al estómago (**v. figura 22.17**, **[p. 589]** y **figura 25.10a**):

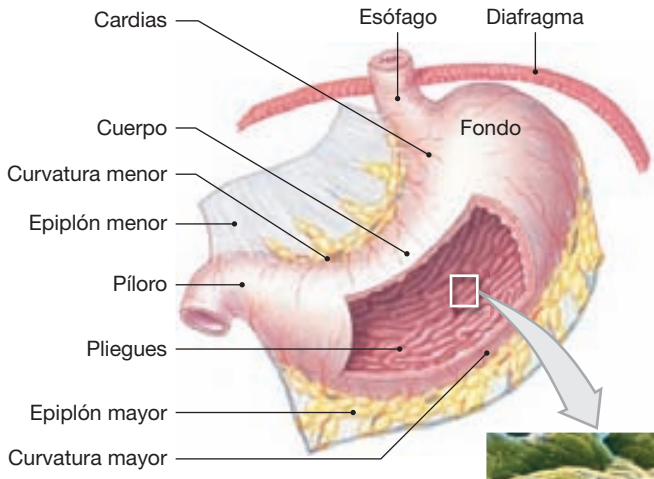
- La *arteria gástrica izquierda* aporta sangre a la curvatura menor y al cardias.
- La *arteria esplénica* irriga directamente el fondo y, a través de la *arteria gastroepiploica izquierda,* la curvatura mayor.
- La *arteria hepática común* suministra sangre a las curvaturas menor y mayor del píloro por medio de la *arteria gástrica derecha,* la *arteria gastroepiploica izquierda* y la *arteria gastroduodenal.* Las *venas gástrica* y *gastroepiploica* drenan la sangre del estómago a la vena porta hepática (**v. figura 22.26**) **[p. 600]**.

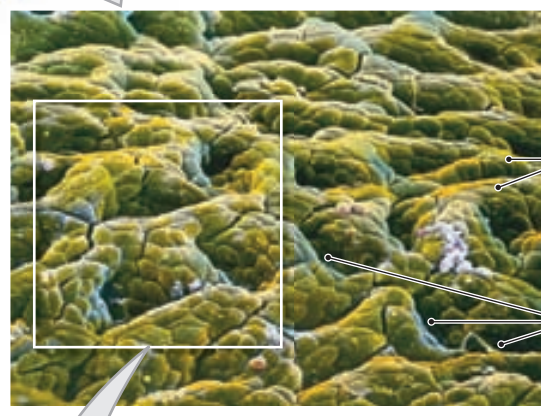
Musculatura del estómago [v. figura 25.11a]

La muscular de la mucosa y la muscular propia contienen capas adicionales de músculo liso, además de las habituales *capas circular* y *capa longitudinal*. La muscular de la mucosa normalmente presenta una capa externa circular complementaria de fibras musculares. Por su parte, la muscular propia tiene una *capa oblicua interna* adicional de músculo liso (**v. figura 25.11a**). Las capas añadidas de músculo liso refuerzan la pared del estómago y realizan las actividades de mezclado que resultan esenciales para la formación del quimo.

Histología del estómago [v. figura 25.13]

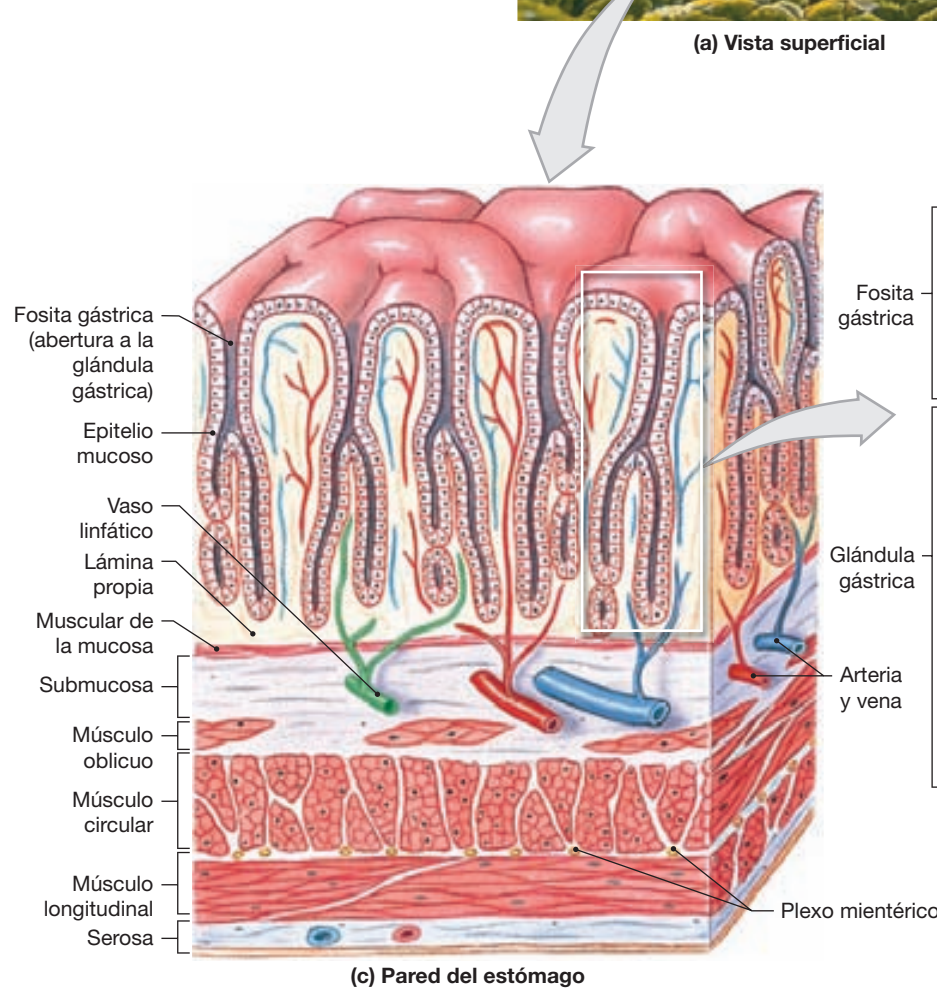
Todas las áreas del estómago están revestidas por un epitelio cilíndrico simple. El epitelio es una *lámina secretora* que genera una capa de moco que cubre las superficies luminales gástricas **[p. 72]**. La capa mucosa protege el epitelio de los ácidos y las enzimas presentes en la luz del estómago. Unas leves depresiones, llamadas **fositas** o **criptas gástricas,** se abren en la superficie del estómago (**v. figura 25.13**). Las células mucosas de la base, o *cuello*, de cada fosita se dividen para reemplazar a las células superficiales continuamente desprendidas y mezcladas con el quimo. La sustitución de células epiteliales proporciona una



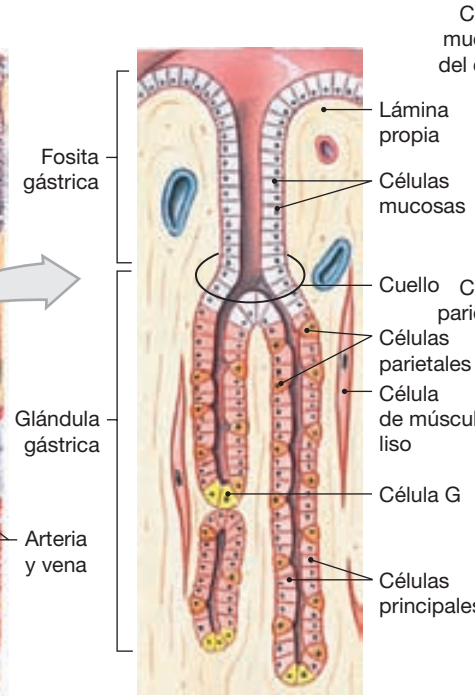


(a) Vista superficial MEB × 35

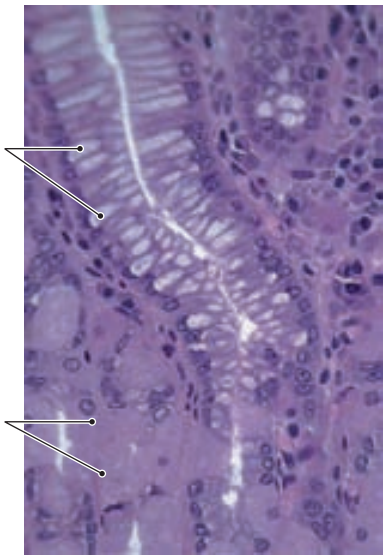
(b) Mucosa del estómago MO × 200



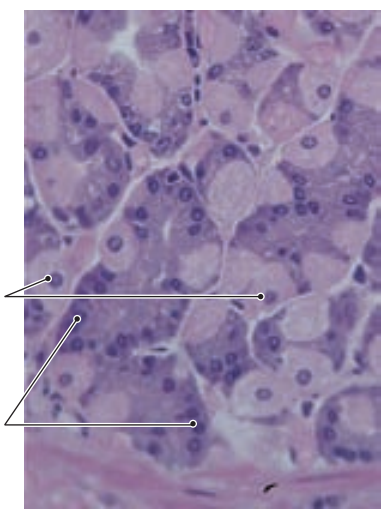
(c) Pared del estómago



(d) Glándula gástrica



(e) Células parietales mucosas del cuello MO × 463



(f) Células principales y parietales MO × 463

Figura 25.13 Histología de la pared del estómago
(a) Representación esquemática e imagen de microscopia electrónica coloreada de la mucosa gástrica. **(b)** Microfotografía de la mucosa gástrica. **(c)** Imagen esquemática de la organización de la pared del estómago. Corresponde a una sección transversal del área recuadrada en la parte (a). **(d)** Glándula gástrica. **(e)** Células del cuello parietales y mucosas de la parte externa de una glándula gástrica. **(f)** Células principales y parietales de las porciones más profundas de una glándula gástrica.

defensa complementaria contra la acción del contenido gástrico. Si los ácidos y enzimas del estómago penetran en las capas mucosas, las células epiteliales dañadas son reemplazadas de inmediato.

Células secretoras gástricas

En el fondo y en el cuerpo del estómago, cada fosita se comunica con diversas **glándulas gástricas** que se extienden en estratos profundos de la lámina propia subyacente. Las glándulas gástricas (**v. figura 25.13b**) son estructuras tubulares ramificadas simples dominadas por tres tipos de células secretoras: *células parietales, principales y enteroendocrinas* dispersas y combinadas con otros dos tipos celulares (**v. figura 25.13c-f**). Las células parietales y las principales actúan de forma conjunta para secretar unos 1.500 mL de **jugo gástrico** al día.

Células parietales Las células que secretan *factor intrínseco* y *ácido clorhídrico* (HCl) se denominan **células parietales,** u *oxínticas*. Son especialmente abundantes en las posiciones proximales de cada una de las glándulas gástricas. El **factor intrínseco** facilita la absorción de vitamina B_{12}, necesaria para la eritropoyesis, a través del revestimiento intestinal [p. 543]. El ácido clorhídrico reduce el pH del jugo gástrico, elimina microorganismos, produce la rotura de las paredes celulares y de los tejidos conjuntivos de los alimentos y activa la secreción de células principales.

Células principales Las **células principales,** o *cimógenas*, son las más abundantes cerca de la base de las glándulas gástricas. Se encargan de la secreción de **pepsinógeno,** que es convertido por los ácidos de la luz gástrica en una activa enzima proteolítica (de digestión de proteínas), la **pepsina.** En el estómago de los lactantes (no así en el de los adultos) se producen también **renina** y **lipasa gástrica,** importantes para la digestión de la leche. La renina induce coagulación de las proteínas lácteas y la lipasa gástrica inicia la digestión de las grasas de la leche.

Células enteroendocrinas Mezcladas entre las células parietales y las principales, se encuentran las **células enteroendocrinas,** que generan al menos siete secreciones diferentes. Las **células G,** por ejemplo, son las células enteroendocrinas más abundantes en las fositas gástricas de la región pilórica. Secretan la hormona **gastrina,** liberada cuando el alimento entra en el estómago estimulando la actividad secretora de las células parietales y principales. También hace que se intensifique la actividad del músculo liso de la pared del estómago, lo que favorece el proceso de mezcla.

Regulación del estómago

La producción de ácido y enzimas por la mucosa gástrica puede ser controlada directamente por el sistema nervioso central o de modo indirecto por hormonas locales. La regulación del SNC implica tanto al nervio vago (inervación parasimpática) como a los ramos del plexo del plexo celíaco (inervación simpática). El simple hecho de ver comida o de pensar en ella activa el nervio vago. Las células parietales, principales y mucosas del estómago son inervadas por fibras parasimpáticas posganglionares. La estimulación da lugar a un aumento en la producción de ácidos, enzimas y moco. La llegada de alimento al estómago estimula los receptores de estiramiento en la pared del estómago y los quimiorreceptores en la mucosa. En las capas musculares de la pared gástrica se producen contracciones reflejas y se libera gastrina por las células enteroendocrinas. Tanto las células parietales como las principales responden a la presencia de gastrina acelerando su actividad secretora. Las células parietales resultan especialmente sensibles a la gastrina, razón por la cual la producción de ácido aumenta en mucha mayor medida que la de enzimas.

La activación simpática da lugar a la inhibición de la actividad gástrica. Además, en el intestino delgado se liberan dos hormonas que inhiben la secreción gástrica, la **secretina** y la **colecistocinina,** que estimulan las secreciones del páncreas y el hígado. La depresión de la actividad gástrica supone pues un efecto secundario pero complementario.

Nota clínica

Gastritis y úlceras pépticas La inflamación de la mucosa gástrica produce **gastritis,** una inflamación superficial del revestimiento del estómago. Este trastorno puede aparecer tras la ingestión de fármacos, como el ácido acetilsalicílico, o de alcohol. La gastritis también es causada por episodios de estrés emocional o físico, infección bacteriana de la pared gástrica o ingestión de agentes químicos que sean ácidos o bases fuertes. Las infecciones relacionadas con la bacteria *Helicobacter pylori* son un importante factor para la formación de una *úlcera*, erosión diferenciada y localizada del revestimiento del estómago. Estas bacterias pueden sobrevivir el tiempo suficiente como para penetrar en la capa de moco que recubre el epitelio. Una vez en el interior de esta capa protectora, quedan a salvo de la acción de los ácidos y enzimas gástricos. Con el tiempo, la infección daña el revestimiento epitelial, con dos consecuencias principales: 1) erosión de la lámina propia por los jugos gástricos, y 2) entrada y difusión de las bacterias en la pared gástrica y en la circulación sanguínea.

Una **úlcera péptica** se produce cuando los ácidos y enzimas digestivos consiguen erosionar las defensas del recubrimiento del estómago o de las partes proximales del intestino. Su localización puede precisarse con los términos **úlcera gástrica** (estómago) o **úlcera duodenal** (duodeno). Las úlceras pépticas se deben a una excesiva producción de ácido o a una inadecuada producción de moco alcalino, que protege el epitelio. Se estima que entre el 50% y el 80% de las úlceras gástricas y que el 95% de las duodenales afectan a personas infectadas con *H. pylori*.

Una vez que los jugos gástricos han destruido las capas epiteliales, la lámina propia, virtualmente indefensa, queda expuesta al ataque digestivo. De ello deriva un dolor penetrante, que puede ir acompañado de hemorragia. En ocasiones, la administración de antiácidos controla las úlceras pépticas, neutralizando los ácidos y dando tiempo a que la mucosa se regenere. Son varios los fármacos que inhiben la producción y secreción de fármacos. El tratamiento con un ciclo intensivo de varios antibióticos durante 2 semanas puede eliminar el *H. pylori* y da lugar a la curación de la mayor parte de las úlceras, aunque existe posibilidad de reinfección. También ayudan la restricción dietética de bebidas ácidas y la eliminación de alimentos que favorezcan la producción de ácido (cafeína) o dañen las células mucosas carentes de protección (alcohol). En casos graves se presenta en ocasiones una hemorragia importante, como consecuencia de la cual los ácidos pueden afectar a la pared del tubo digestivo y entrar en la cavidad peritoneal. Este cuadro, denominado **úlcera perforada,** requiere tratamiento quirúrgico de urgencia.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son las funciones del epiplón mayor?
2. ¿Cómo evitan las células que revisten el estómago resultar dañadas en un medio tan ácido?
3. ¿Qué secretan las células principales?
4. ¿Qué hormona estimula la secreción de las células parietales y principales?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Intestino delgado

[v. figuras 25.2a,b/25.10/25.12/25.14 a 25.16]

El **intestino delgado** desempeña el papel principal en la digestión y absorción de nutrientes. Se trata de un órgano con una longitud media de 6 m (en un

intervalo de entre 5 y 8,3 m) y un diámetro de entre 4 cm junto al estómago, y 2,5 cm, en la unión con el intestino grueso. Ocupa todas las regiones abdominales, excepto el hipocondrio izquierdo y el epigastrio (v. figuras 25.12, p. 671, y 25.14). El 90% de la absorción de nutrientes se produce en el intestino delgado, correspondiendo la mayoría del 10% restante a la porción proximal del intestino grueso.

El intestino delgado ocupa una gran parte de la cavidad peritoneal. Su posición queda estabilizada por medio de mesenterios fijados a la pared dorsal del cuerpo. El movimiento del intestino delgado durante la digestión queda limitado por el estómago, el intestino grueso, la pared abdominal y la cintura pélvica. Las figuras 25.10, p. 669, 25.12 y 25.14 muestran la posición del intestino delgado en relación con los otros segmentos del tubo digestivo.

El revestimiento intestinal presenta una serie de pliegues transversales llamados **pliegues circulares** (v. figuras 25.2a,b, p. 658, 25.15a y 25.16b). Al igual que los pliegues del estómago, cada uno de estos es un rasgo permanente del revestimiento intestinal, que no desaparece cuando el intestino se llena. A lo largo del intestino se encuentran unos 800 pliegues, cuya presencia aumenta en gran medida la superficie disponible para la absorción.

Regiones del intestino delgado [v. figura 25.14]

El intestino delgado presenta tres subdivisiones anatómicas: el *duodeno*, el *yeyuno* y el *íleon* (v. figura 25.14).

Duodeno [v. figuras 25.4b/25.10b,c/25.14]

El **duodeno** (v. figuras 25.10b,c, p. 669, y 25.14) es el segmento más corto y más ancho del intestino delgado. Mide aproximadamente 25 cm y está conectado al píloro del estómago; la unión con este queda protegida por el esfínter pilórico. Desde su comienzo en dicho esfínter, el duodeno se curva formando una C que rodea el páncreas. Los 2,5 cm proximales son intraperitoneales, mientras que el resto son secundariamente retroperitonealers y se localizan entre las vértebras L_1 y L_4 (v. figura 25.4b, p. 661).

El duodeno es un «recipiente mezclador» que recibe quimo del estómago y secreciones digestivas del páncreas y el hígado. Casi todas las enzimas digestivas esenciales proceden del páncreas.

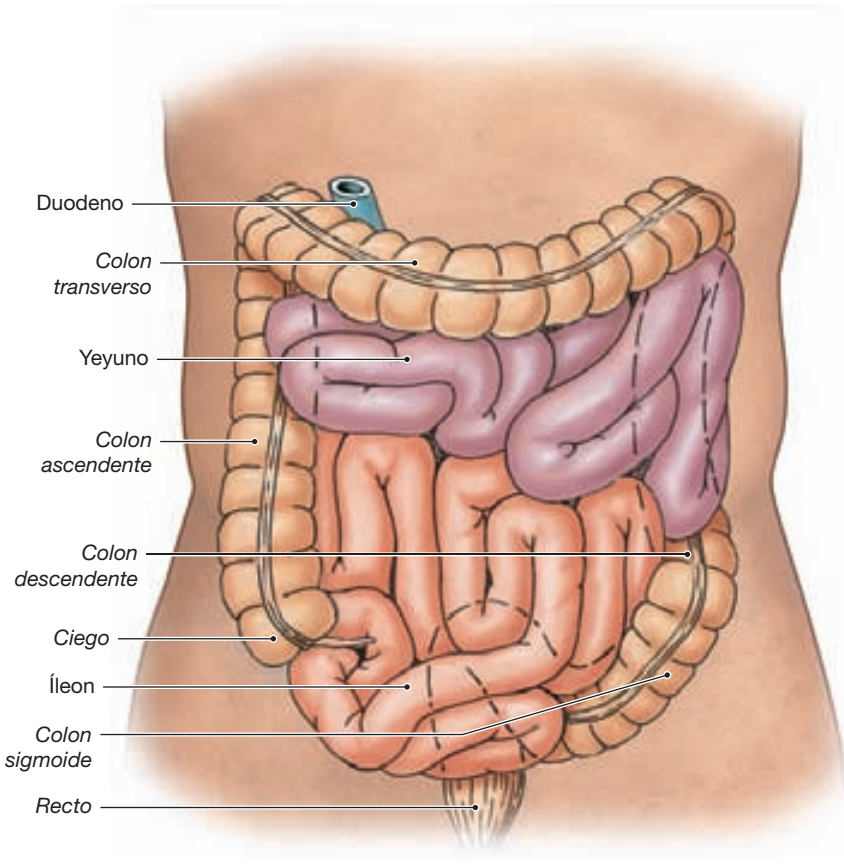


Figura 25.14 Regiones del intestino delgado
Los códigos de color diferencian las posiciones y los tamaños relativos de duodeno, yeyuno e íleon.

Yeyuno

Un pliegue más bien abrupto, la *flexura o ángulo duodenoyeyunal*, marca la separación entre el duodeno y el **yeyuno.** En este punto, el intestino delgado vuelve a entrar en la cavidad peritoneal, pasando a ser intraperitoneal y a estar sostenido por una lámina de mesenterio. El yeyuno mide unos 2,5 m de largo. En su interior tiene lugar la mayor parte de la digestión química y de la absorción de nutrientes.

Íleon

El **íleon,** también intraperitoneal, es el tercer y último segmento del intestino delgado. Es el más largo, con unos 3,5 m. El íleon termina en un esfínter, la *válvula ileocecal,* que regula el flujo de materia del íleon al *ciego* del intestino grueso.

Soporte del intestino delgado

[v. figuras 22.17/ 22.26/25.4]

El duodeno carece de mesenterio de soporte. Los 2,5 cm proximales del órgano son móviles, mientras que el resto de su extensión es retroperitoneal y de posición fija. El yeyuno y el íleon son sostenidos por un mesenterio extenso en forma de abanico conocido como **mesenterio propio** o, simplemente, **mesenterio** (v. figura 25.4, p. 661). Los vasos sanguíneos y linfáticos y los nervios llegan a estos segmentos del intestino delgado a través del tejido conjuntivo del mesenterio. Los vasos sanguíneos implicados son las *arterias intestinales* y ramas de la *arteria mesentérica superior* y de la *vena mesentérica superior* (v. figuras 22.17 y 22.26) [pp. 589, 600]. La inervación parasimpática es aportada por el nervio vago, mientras que la simpática implica a fibras posganglionares del ganglio mesentérico superior [p. 457].

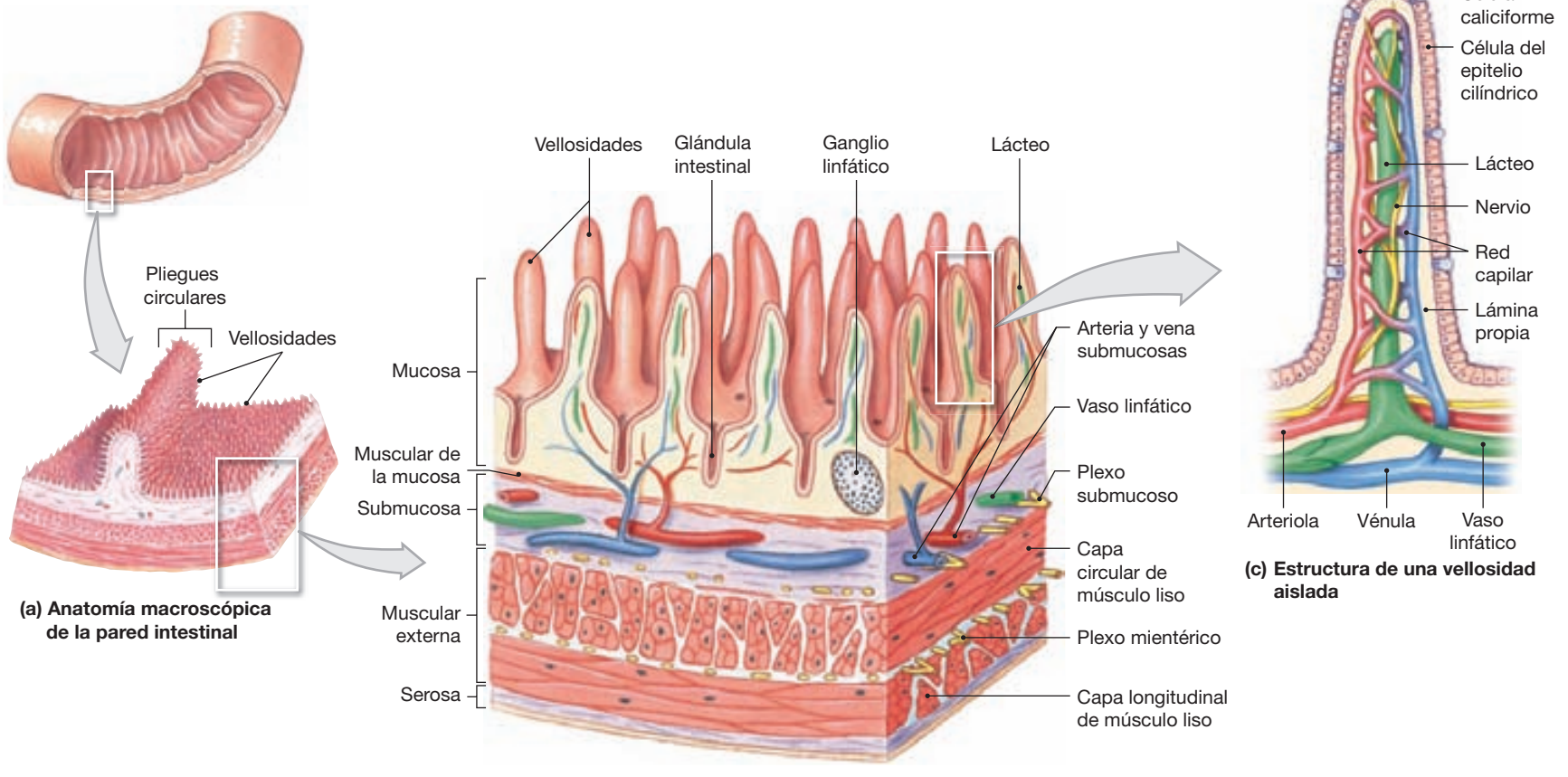
Histología del intestino delgado

Epitelio intestinal [v. figuras 25.15/25.16]

La mucosa del intestino delgado forma una serie de proyecciones digitiformes, las **vellosidades intestinales** (v. figuras 25.15 y 25.16), que protruyen hacia la luz intestinal. Cada vellosidad está revestida de un epitelio cilíndrico simple. Las superficies apicales de las células epiteliales están tapizadas de microvellosidades, y con frecuencia se dice que dichas células presentan «borde en cepillo». Si el intestino delgado fuera un simple conducto de paredes lisas, su superficie de absorción sería 0,33 m^2. En cambio, el epitelio presenta pliegues circulares, cada uno de los cuales contiene un verdadero bosque de vellosidades y cada una de estas vellosidades está revestida por células epiteliales cuyas superficies expuestas contienen, a su vez, microvellosidades. Esta disposición permite que la superficie total de absorción supere los 200 m^2.

Glándulas intestinales [v. figura 25.15b,d]

Entre las células del epitelio cilíndrico hay células caliciformes que secretan mucina en la superficie intestinal. En la base de las vellosidades están las entradas a las **glándulas intestinales,** también llamadas *glándulas* o *criptas de Lierberkühn*. Estas cavidades se extienden en profundidad en la lámina propia (v. figura 25.15b,d). Cerca de la base de cada glándula, la división de células madre produce de forma persistente nuevas generaciones de células epiteliales. Estas nuevas células son continuamente desplazadas hacia la superficie del intestino y, en el plazo de pocos días, alcanzan la punta de una vellosidad,



(a) Anatomía macroscópica de la pared intestinal

(b) Vellosidades y glándulas intestinales

(c) Estructura de una vellosidad aislada

(d) Yeyuno MO × 49

MO × 360 **(e) Vellosidades del yeyuno** MO × 620

Figura 25.15 Histología de la pared intestinal

(a) Características del revestimiento intestinal. **(b)** Organización de las vellosidades y las glándulas intestinales. **(c)** Imagen esquemática de una vellosidad aislada, que muestra la irrigación capilar y linfática. **(d)** Vista panorámica de la pared del intestino delgado, que muestra la mucosa con capas características de vellosidades, pliegues, submucosa y músculo. **(e)** Microfotografías de las vellosidades yeyunales.

desde donde se desprenden, pasando a la luz intestinal. Este incesante proceso renueva la superficie epitelial e incorpora nuevas enzimas intracelulares al quimo.

Las glándulas intestinales también contienen células enteroendocrinas, responsables de la producción de diversas hormonas intestinales, entre ellas la colecistocinina y la secretina, así como enzimas con actividad antibacteriana.

Lámina propia [v. figura 25.15b,c,e]

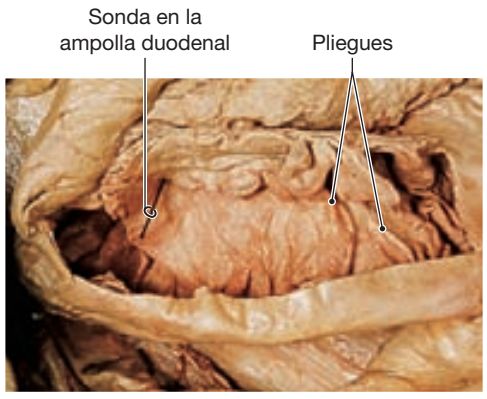
La lámina propia de cada vellosidad contiene una amplia red de capilares que absorben y transportan nutrientes a la circulación portal hepática. Además de las terminaciones capilares y nerviosas, cada vellosidad contiene un vaso linfático terminal llamado **quilífero** (v. figura 25,15b,c,e); este tipo de vasos transportan las sustancias que no pueden penetrar localmente en los capilares. Dichas sustancias, como los grandes complejos moleculares lípido-proteicos, alcanzan en última instancia la circulación venosa a través del conducto torácico. El término *quilífero* hace referencia a la consistencia blanquecina y lechosa de la linfa, que contiene grandes cantidades de lípidos.

Especializaciones regionales [v. figura 25.16]

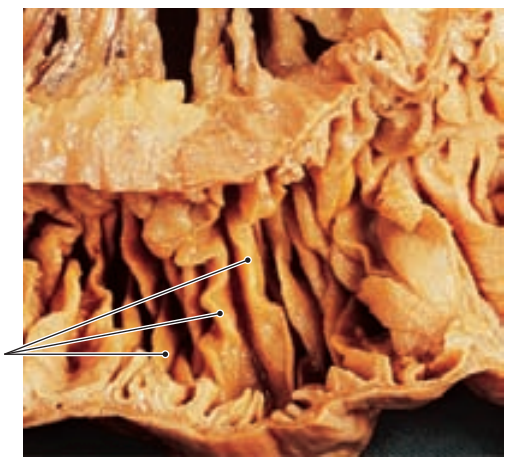
Las diferentes áreas del intestino delgado presentan especializaciones relacionadas con sus funciones primarias. Algunas secciones representativas de cada área del intestino delgado se presentan en la figura 25.16.

Duodeno [v. figuras 25.16/25.22b] El duodeno contiene numerosas glándulas mucosas. Además de las intestinales, la submucosa contiene **glándulas submucosas duodenales,** también conocidas como glándulas de Brunner, que producen grandes cantidades de moco (v. figura 25.16). El moco producido por las glándulas intestinales y submucosas protege el epitelio del quimo ácido que llega del estómago. El moco contiene también sustancias tampón que ayudan a elevar el pH del quimo. Las glándulas submucosas son más abundantes en la porción proximal del duodeno, reduciéndose su número a medida que el conducto se aproxima al yeyuno. En este intervalo, el pH del contenido intestinal pasa de 1-2 a 7-8 y, en la parte inicial del yeyuno, ya no es necesaria la producción de moco.

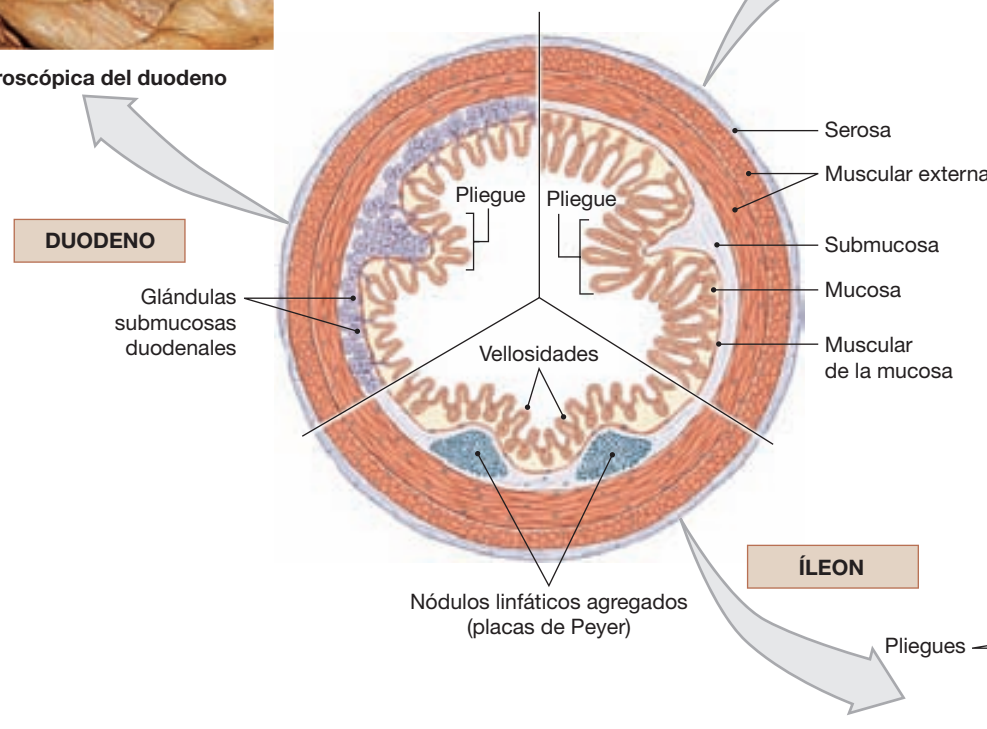
Las sustancias tampón y las enzimas procedentes del páncreas y la bilis del hígado entran en el duodeno, aproximadamente en la mitad de su longitud. En



Anatomía macroscópica del duodeno



Anatomía macroscópica del yeyuno



Anatomía macroscópica del íleon

Figura 25.16 Regiones del intestino delgado
Imagen esquemática que representa los rasgos distintivos de cada una de las regiones del intestino delgado. El dibujo muestra una sección transversal de la ampolla del duodeno. En las fotografías se aprecia la anatomía macroscópica del revestimiento intestinal en cada una de las regiones del intestino delgado.

la pared duodenal, el *conducto colédoco*, procedente del hígado y la vesícula biliar, y el *conducto pancreático*, originado en el páncreas, convergen en una cámara muscular llamada **ampolla duodenal** o **ampolla hepatopancreática.** Esta cámara se abre a la luz duodenal en una pequeña protuberancia conocida como **papila duodenal** o, cuando existe un conducto pancreático accesorio, como *papila duodenal mayor* (v. figuras 25.16 y 25.22b).

Yeyuno e íleon [v. figuras 25.15d,e/25.16] Los pliegues y las vellosidades continúan siendo prominentes en la mitad proximal del yeyuno (v. figuras 25.15d,e y 25.16). La mayor parte de la absorción se produce en este segmento. A medida que se va aproximando el íleon, los pliegues y vellosidades se hacen más pequeños y siguen disminuyendo de tamaño y número hasta el final del íleon. Tal reducción discurre en paralelo a la disminución de la absorción, de modo que la mayoría de la absorción ya ha tenido lugar al llegar a la porción terminal del íleon. La región adyacente al intestino grueso carece por completo de pliegues y las microvellosidades, que aparecen de forma dispersa, son achatadas y cónicas.

Las bacterias, en especial *E. coli*, son habitantes habituales de la luz del intestino grueso. Tales bacterias se nutren de la mucosa circundante. Las barreras epiteliales (células, moco y jugos digestivos) y las células subyacentes del sistema inmunitario protegen el intestino delgado de la eventual migración bacteriana procedente del intestino grueso. Pequeños ganglios linfáticos individuales y aislados están presentes en la lámina propia del yeyuno. En el íleon, estos ganglios se hacen más numerosos y se funden entre sí para formar extensas masas de tejido linfático (v. figura 25.16). Tales centros linfáticos, denominados **nódulos linfáticos agregados,** o *placas de Peyer*, pueden alcanzar el tamaño de una cereza [p. 617]. Son más abundantes en la porción terminal del íleon, cerca de la entrada al intestino grueso, que normalmente contiene grandes cantidades de bacterias, potencialmente nocivas.

Regulación del intestino delgado

A medida que tiene lugar la absorción, contracciones peristálticas débiles van desplazando las sustancias a lo largo del intestino delgado. Los movimientos de este son controlados principalmente por reflejos neuronales que afectan a los plexos submucoso y mientérico. La estimulación del sistema parasimpático aumenta la sensibilidad de tales reflejos y acelera las contracciones peristálticas y los movimientos de segmentación. Estas contracciones y movimientos, que favorecen la mezcla del contenido intestinal, suelen limitarse a un área de algunos centímetros desde el punto del estímulo original. Cuando el alimento entra en el estómago, se producen movimientos intestinales coordinados. Tales movimientos tienden a desplazar el material haciendo que salga del duodeno en dirección al intestino grueso. En esta fase, la válvula ileocecal permite el paso de materia al intestino grueso.

El control hormonal y el del SNC regulan la secreción del intestino delgado y las glándulas accesorias. Las secreciones del intestino delgado se denominan en conjunto **jugos intestinales.** Las actividades secretoras son desencadenadas por reflejos locales y estimulación parasimpática (vagal). La estimulación simpática inhibe la secreción. Por su parte, las células enteroendocrinas duodenales producen secretina y colecistocinina, hormonas que coordinan las actividades secretoras del estómago, el duodeno, el hígado y el páncreas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué rasgos histológicos del intestino delgado facilitan la digestión y absorción de nutrientes?
2. ¿Cuál es la función de los pliegues?
3. ¿Cuáles son las funciones de las glándulas intestinales?
4. ¿Qué sección del intestino actúa como «recipiente mezclador»?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Intestino grueso

[v. figuras 25.1/25.12/25.14/25.17]

El **intestino grueso,** con forma de herradura, comienza al final del íleon y finaliza en el ano. Se sitúa por debajo del estómago y el hígado y enmarca prácticamente en su totalidad el intestino delgado (v. figuras 25.1, p. 657, 25.12, p. 671, y 25.14).

La longitud media del **intestino grueso** es de 1,5 m y su diámetro promedio es de 7,5 cm. El órgano de divide en tres partes: 1) el *ciego,* su segmento inicial, con forma de bolsa; 2) el *colon,* que es su parte más larga, y 3) el *recto,* que forma los 15 cm terminales y constituye el final del tubo digestivo (v. figura 25.17).

Las principales funciones del intestino grueso son: 1) *reabsorción de agua y electrólitos* y la *compactación* del contenido intestinal para formar las heces; 2) *absorción de las importantes vitaminas* producidas por la acción de las bacterias, y 3) *almacenamiento del material fecal* antes de la defecación.

El intestino grueso recibe sangre de las ramas tributarias de las *arterias mesentérica superior* y *mesentérica inferior*. La sangre venosa procedente del intestino grueso es recogida a través de las *venas mesentéricas superior* e *inferior* [pp. 589, 600].

Ciego [v. figura 25.17]

Los materiales procedentes del íleon entran en primer lugar en una bolsa expandida denominada **ciego.** El íleon se fija a la superficie medial del ciego y se abre en la **papila ileal.** Los músculos que rodean la abertura forman la **válvula ileocecal** (v. figura 25.17), que regula el paso de material al intestino grueso. El ciego, que es intraperitoneal, recoge y almacena el material digestivo que llega a él y comienza el proceso de compactación. El **apéndice,** o *apéndice vermiforme,* fino y hueco, está fijado al ciego en su cara posteromedial. Dicho apéndice mide unos 9 cm de largo, aunque su forma y sus dimensiones son muy variables. Una banda de mesenterio, el **mesoapéndice,** conecta el apéndice con el íleon y con el ciego. La mucosa y la submucosa del apéndice están ocupadas principalmente por nódulos linfáticos y su principal función está relacionada con el sistema linfático, de un modo comparable a las amígdalas. La inflamación de este apéndice da lugar a síntomas de *apendicitis*.

Colon [v. figura 25.17]

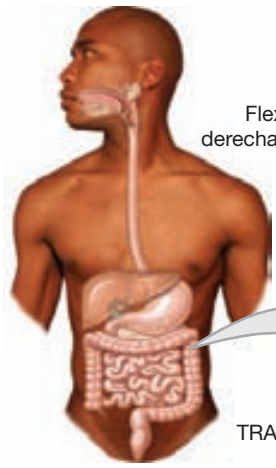
El **colon** presenta un diámetro mayor y una pared más delgada que la del intestino delgado. En la figura 25.17 se ilustran los diferentes rasgos distintivos de este órgano:

1. La pared del colon presenta una serie de saculaciones, o **haustras,** que permiten niveles considerables de distensión y elongación. Un corte en la luz intestinal permite observar que las arrugas existentes entre las haustras se extienden al revestimiento mucoso, produciendo una serie de pliegues internos.
2. Tres bandas longitudinales separadas de músculo liso, las **tenias del colon,** son visibles en la superficie externa del colon, justo bajo la serosa.
3. La serosa del colon contiene numerosas saculaciones de grasa en forma de gota, llamadas **apéndices epiploicos** u **omentales,** también conocidos como *apéndices grasos del colon* (v. figura 25.17a).

Regiones del colon [v. figuras 25.17a/25.18]

El colon se subdivide en cuatro regiones: *colon ascendente, colon transverso, colon descendente* y *colon sigmoide* (v. figura 25.17a). Estas áreas pueden diferenciarse con claridad en la radiografía de la figura 25.18.

Colon ascendente [v. figuras 25.4c,d/25.17a] Comenzando en el borde superior del ciego y ascendiendo a lo largo de la pared abdominal derecha

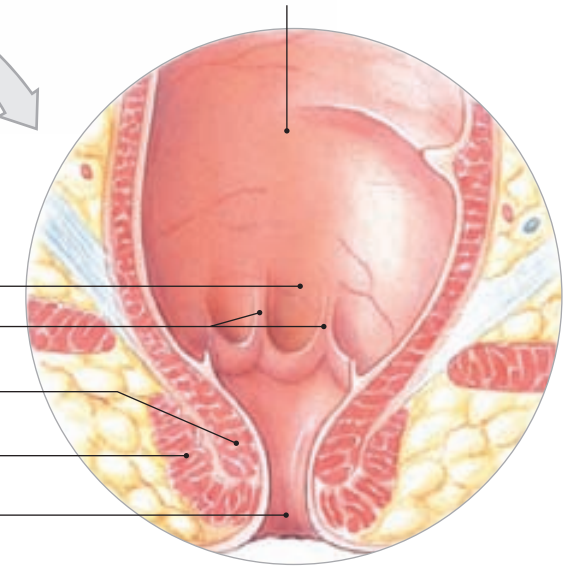


Flexura cólica derecha (hepática)
COLON TRANSVERSO
Arteria y vena cólicas medias
Arteria y vena cólicas derechas
COLON ASCENDENTE
Apéndices epiploicos
Válvula ileocecal
Ciego
Apéndice
Íleon
Aorta
Vena porta hepática
Vena mesentérica superior
Vena cava inferior
Vena esplénica
Arteria mesentérica superior
Vena mesentérica inferior
Flexura cólica izquierda (esplénica)
Epiplón mayor (seccionado)
COLON DESCENDENTE
Vena cólica izquierda
Arteria mesentérica inferior
Arteria cólica izquierda
Haustras
Arterias y venas intestinales
Arteria rectal
Arterias y venas sigmoideas
Tenias del colon
Flexura sigmoidea
COLON SIGMOIDE
Recto

(a) Intestino grueso, vista anterior

Papila ileal
Válvula ileocecal
Ciego (seccionado abierto)
Apéndice

(b) Ciego y apéndice



Recto
Conducto anal
Columnas anales
Esfínter interno del ano
Esfínter externo del ano
Ano

(c) Recto, seccionado

Figura 25.17 Intestino grueso
(a) Anatomía macroscópica y regiones del intestino grueso. **(b)** Ciego y apéndice. **(c)** Anatomía detallada del recto y el ano.

lateral y posterior de la cavidad peritoneal hasta la superficie del hígado, se sitúa el **colon ascendente.** Llegado a esa altura gira a la derecha formando la **flexura cólica derecha** o *flexura hepática*. Este ángulo determina el final del colon ascendente y el inicio del *colon transverso*. El colon ascendente es secundariamente retroperitoneal, al quedar sus superficies lateral y anterior cubiertas por el peritoneo visceral (**v. figuras 25.4c,d,** p. 661, y **25.17a**).

Colon transverso En el ángulo cólico derecho, el **colon transverso** se curva en sentido anterior y atraviesa el abdomen de derecha a izquierda. A medida que cruza la cavidad abdominal, su relación peritoneal cambia. El segmento inicial es intraperitoneal, quedando sostenido por el *mesocolon transverso* y separado de la pared abdominal anterior por las capas del epiplón mayor. Cuando el colon transverso alcanza el lado izquierdo, pasa por debajo de la curvatura mayor del estómago y se transforma en retroperitoneal secundario.

El **ligamento gastrocólico** fija el colon transverso a la curvatura mayor del estómago. Cerca del bazo, el colon forma una curva hacia la derecha, denominada **flexura cólica izquierda,** o *flexura esplénica,* y a continuación avanza en sentido caudal.

Colon descendente El **colon descendente** avanza hacia abajo a lo largo del lado derecho del abdomen. Como es secundariamente retroperitoneal, esta parte del colon está firmemente fijada a la pared abdominal. En la fosa ilíaca, el colon descendente forma un segmento en forma de S, el *colon sigmoide.*

Colon sigmoide [v. figuras 25.4/25.17a] El **colon sigmoide** (término derivado de la letra griega sigma, S) es un segmento con forma de S del intestino grueso, de unos 15 cm de longitud. Se inicia en la **flexura sigmoide,** y termina en el *recto* (**v. figura 25.17a**). El colon sigmoide es intraperitoneal y, al curvarse por detrás de la vejiga urinaria es sostenido por el *mesocolon sigmoide* (**v. figura 25.4**, p. 661).

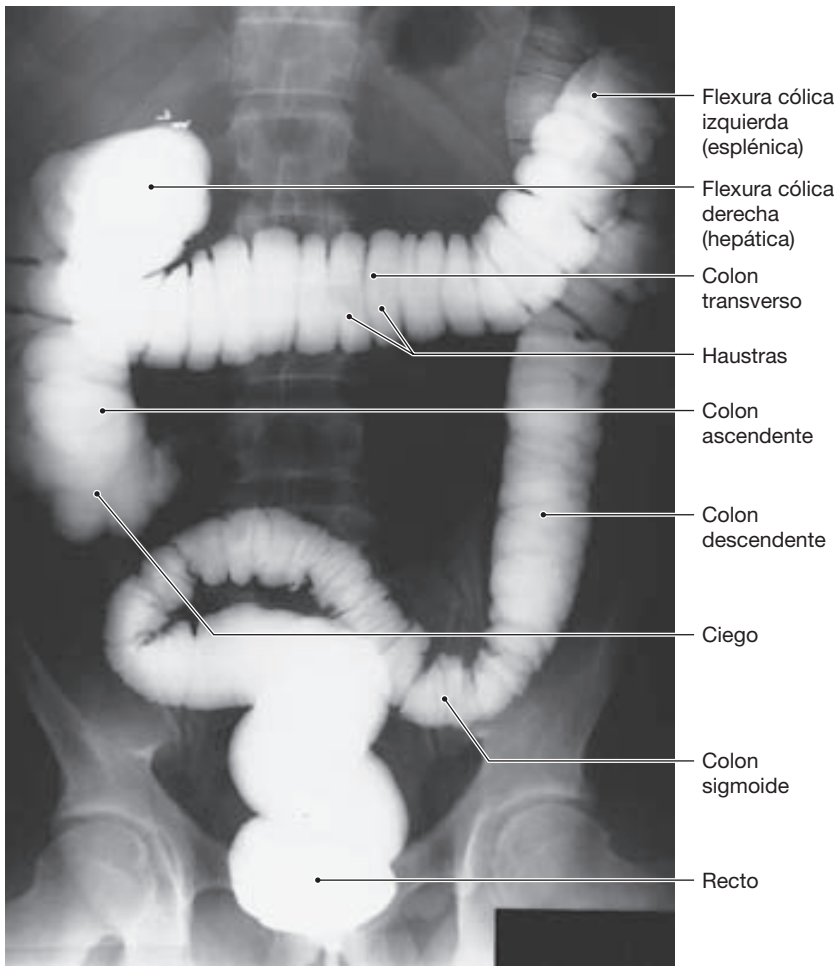


Figura 25.18 **Radiografía anteroposterior del colon**

Recto [v. figuras 25.12/25.17a,c/25.18]

El colon sigmoide descarga los residuos fecales en el *recto*. El **recto** corresponde a un segmento intestinal retroperitoneal secundario que forma los últimos 15 cm del tubo digestivo (**v. figuras 25.12**, p. 671, **25.17a,c** y **25.18**). Se trata de un órgano dilatable, destinado al almacenamiento temporal de la materia fecal; el desplazamiento de dicha materia al recto activa el impulso de defecación.

La última porción del recto, el **conducto anal,** contiene pequeños pliegues longitudinales, las **columnas anales.** Los bordes distales de las columnas anales están unidos por pliegues transversos, que delimitan la separación entre el epitelio cilíndrico del recto proximal y un epitelio escamoso estratificado similar al de la cavidad oral. El conducto anal termina en el **ano** u *orificio anal.* Cerca del ano, la epidermis se queratiniza y se hace idéntica a la superficie de la piel.

Las venas de la lámina propia y la submucosa del conducto anal en ocasiones se dilatan, produciendo las denominadas *hemorroides*. La capa de músculo circular de la muscular propia en esta área forma el **esfínter interno del ano.** Las fibras de músculo liso de dicho esfínter no actúan por control voluntario. Por su parte, el **esfínter externo del ano** rodea la porción distal del conducto anal. Este último esfínter, constituido por fibras de músculo estriado, sí es en cambio de control voluntario.

Histología del intestino grueso

[v. figuras 23.8a/25.19]

Las características histológicas que diferencian al intestino grueso del delgado son las siguientes:

- La pared del intestino grueso es relativamente delgada. Aunque el diámetro del colon es unas tres veces mayor que el del intestino delgado, su pared es de menor espesor.
- El intestino grueso carece de vellosidades, que son características del intestino delgado.
- Las células caliciformes son mucho más abundantes en el intestino grueso que en el delgado.
- El intestino grueso tiene glándulas intestinales características (**v. figura 25.19**). Las glándulas del intestino grueso se sitúan a mayor profundidad que las del intestino delgado y en ellas predominan las células caliciformes. Su secreción se produce cuando estímulos locales generan reflejos que afectan a los plexos nerviosos locales, dando lugar a la producción de abundantes cantidades de moco para favorecer la lubricación mientras los residuos no digeridos son compactados.
- Existen grandes nódulos linfáticos en la lámina propia y alcanzan la submucosa (**v. figura 23.8a**) **[p. 616]**.
- La muscular propia se diferencia de las de otras regiones intestinales porque su capa longitudinal queda reducida a las bandas musculares de las tenias del colon. Sin embargo, las contracciones de mezclado y propulsión del colon son similares a las del intestino delgado.

Regulación del intestino grueso

El movimiento de la materia ingerida desde el ciego al colon transverso se desarrolla muy lentamente. Ello implica actividad peristáltica y *mezcla haustral,* impulsada por los movimientos de segmentación del intestino grueso. El lento paso de materia a lo largo del intestino grueso da tiempo para que la materia fecal se convierta en una pasta de consistencia fangosa. Los movimientos desde el colon transverso al resto del intestino grueso

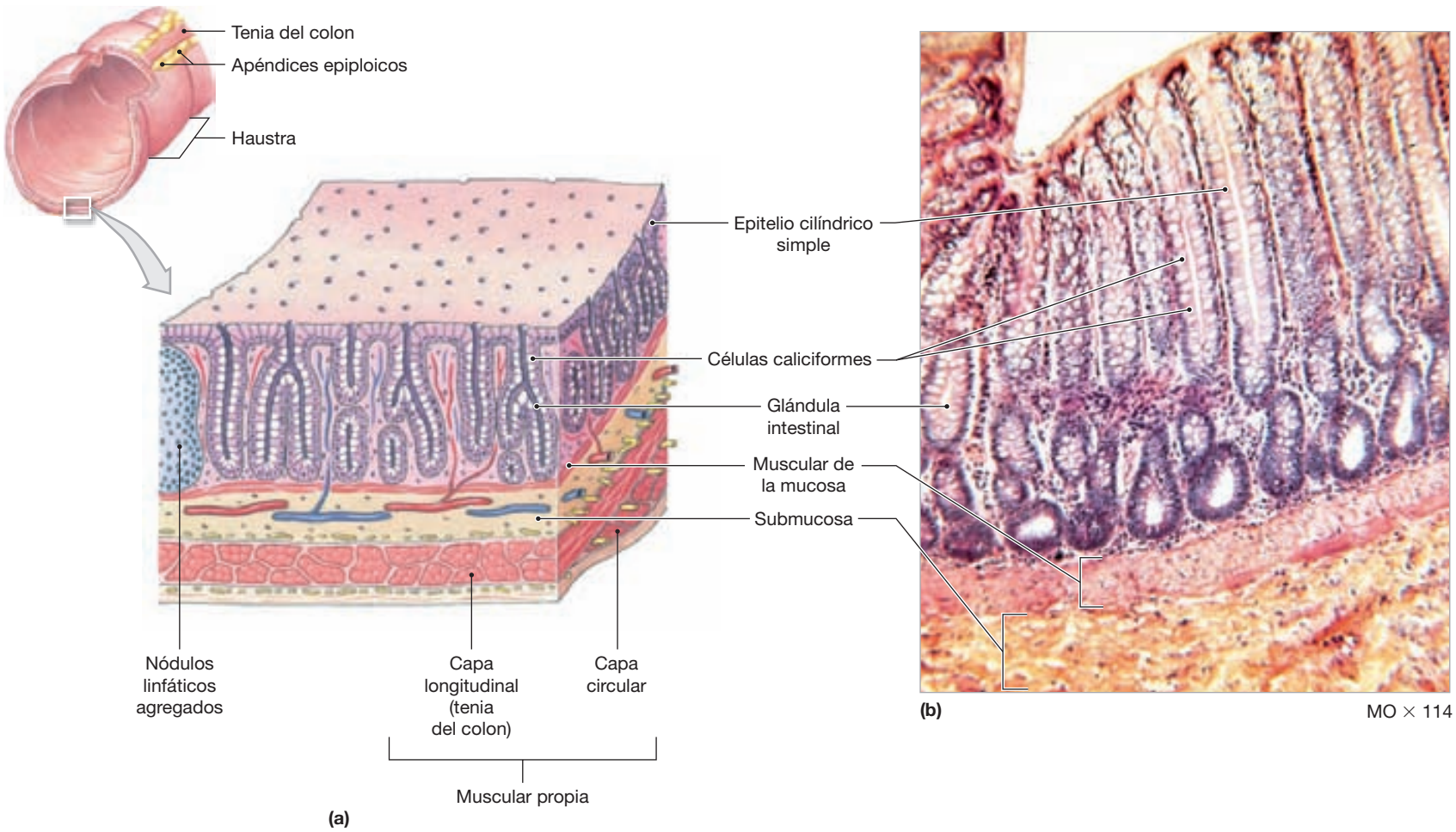


Figura 25.19 La pared del intestino grueso
(a) Imágenes tridimensional y colonoscópica de la pared del colon. **(b)** Histología del colon, que muestra en detalle las capas mucosa y submucosa.

son impulsados por potentes contracciones peristálticas, denominadas **movimientos de masa,** que tienen lugar unas pocas veces al día. El estímulo es la distensión del estómago y el duodeno y las órdenes son transmitidas a través de los plexos nerviosos intestinales. Las contracciones impulsan a la materia fecal hacia el recto, generando un impulso consciente de defecación.

La cámara rectal suele estar vacía, excepto cuando uno de esos potentes movimientos de masa fuerza la materia fecal para que pase del sigmoide al recto. A continuación, la distensión de la pared rectal estimula el impulso consciente de defecación. El proceso induce asimismo relajación del esfínter interno a través del *reflejo de defecación,* y la materia fecal avanza hacia el conducto anal [p. 466]. Cuando el esfínter externo del ano se relaja de manera voluntaria, se produce la defecación.

Órganos digestivos glandulares accesorios

Los órganos glandulares accesorios del tubo digestivo incluyen las *glándulas salivales*, el *hígado,* la *vesícula* biliar y el *páncreas*. Los órganos glandulares producen y almacenan las enzimas, así como las sustancias tampón, que resultan esenciales para la función digestiva. Además de los papeles que desarrollan en la digestión, las glándulas salivales, el hígado y el páncreas desempeñan funciones exocrinas. Tanto el hígado como el páncreas tienen otros cometidos vitales para los procesos vitales, además de los relacionados con los procesos digestivos.

Hígado [v. figura 25.12 y tabla 25.1]

El **hígado** es el órgano visceral de mayor tamaño y uno de los más versátiles del organismo. La mayor parte de su masa se asienta sobre las regiones hipocondríaca y epigástrica derechas (v. figura 25.12, p. 671). Pesa en torno a 1,5 kg. Este órgano, grande, consistente y de color pardo-rojizo, desarrolla una serie de funciones metabólicas y de síntesis que cubren las tres categorías siguientes: *regulación metabólica, regulación hematológica* y *producción de bilis*.

- **Regulación metabólica:** El hígado es un centro esencial de intercambio para la regulación metabólica del cuerpo. Los niveles circulantes de carbohidratos, lípidos y aminoácidos son controlados por él. Toda la sangre procedente de las superficies de absorción del tubo digestivo entra en el sistema portal hepático y a través de él fluye al hígado. Esta disposición permite a las células hepáticas extraer los nutrientes absorbidos o las toxinas de la sangre, antes de que esta llegue a la circulación sistémica a través de las venas hepáticas. Las células hepáticas, o *hepatocitos*, regulan los niveles circulantes de metabolitos y los ajustan a las necesidades de cada momento. El exceso de nutrientes es eliminado y almacenado y sus deficiencias son corregidas movilizando las reservas almacenadas o poniendo en práctica las actividades de síntesis apropiadas. Las toxinas circulantes y los productos metabólicos residuales también son eliminados para su posterior inactivación, almacenamiento o excreción. Por último, las vitaminas liposolubles (A, D, K y E) son absorbidas y almacenadas en el hígado.
- **Regulación hematológica:** El hígado es el mayor reservorio de sangre del cuerpo y recibe en torno al 25% del gasto cardíaco. A medida que la

sangre va pasando por los sinusoides hepáticos: 1) los fagocitos del hígado eliminan los eritrocitos viejos o dañados, los residuos celulares y los agentes patógenos de la circulación, y 2) las células hepáticas sintetizan proteínas que contribuyen a la concentración osmótica de la sangre y el transporte de nutrientes, y establecen los sistemas de la coagulación y el complemento.

- **Síntesis y secreción de bilis:** la **bilis** es sintetizada por las células del hígado, almacenada en la vesícula biliar y excretada a la luz del duodeno. Está constituida básicamente por agua, con cantidades menores de iones, *bilirrubina* (pigmento derivado de la hemoglobina), y un conjunto de lípidos conocidos globalmente como *sales biliares*. El agua y los iones ayudan a diluir y tamponar los ácidos del quimo cuando este entra en el intestino delgado. Las sales biliares se asocian al quimo y hacen posible que las enzimas descompongan los lípidos que las integran en ácidos grasos absorbibles.

Hasta el momento se han atribuido al hígado hasta 200 funciones diferentes. La tabla 25.1 recoge alguna de ellas. Cualquier trastorno que lesione de forma significativa el hígado representa una grave amenaza para la vida. El órgano tiene una capacidad de regeneración limitada tras sufrir una lesión; la función hepática no se recupera plenamente hasta que se restablecen los patrones vasculares normales.

Anatomía de hígado [v. figura 25.20a,b,c,d,f]

El hígado es el mayor de los órganos intraperitoneales. Dispuesto en un estrato profundo de la capa peritoneal visceral, cuenta con una firme cápsula fibrosa. En la superficie anterior, un mesenterio ventral, el **ligamento falciforme,** marca la división entre el **lóbulo izquierdo** y el **lóbulo derecho** del hígado (v. figura 25.20a-c). Un engrosamiento en el borde inferior del ligamento falciforme constituye el **ligamento redondo** del hígado, o *ligamentum teres,* banda fibrosa que se corresponde con la vena umbilical fetal degenerada. El hígado es sostenido en la superficie inferior del diafragma por el **ligamento coronario.**

La forma del hígado se ajusta al entorno que lo rodea. La **superficie anterior** sigue la curva regular de la pared del cuerpo (v. figura 25.20c). La **superficie posterior** presenta las impresiones del estómago, el intestino delgado, el riñón derecho y el intestino grueso (v. figura 25.20d). Las superficies superior, anterior y posterior del hígado se denominan *superficies diafragmáticas,* debido a su relación con el diafragma. La inferior se llama *superficie visceral.*

Tradicionalmente, en el hígado se han diferenciado cuatro lóbulos (v. figura 25.20d). La impresión dejada por la vena cava inferior señala la división entre el lóbulo derecho y el pequeño **lóbulo caudado.** Bajo este se sitúa el **lóbulo cuadrado,** comprendido entre el lóbulo izquierdo y la vesícula biliar.

La diferenciación clásica en cuatro lóbulos se basaba en la topografía superficial del hígado y no satisfacía las necesidades de la ciencia médica moderna, en particular en lo que se refiere a la cirugía. Como consecuencia de ello, se desarrolló un sistema más completo para describir la estructura del hígado. La nueva terminología es compleja, pero, en esencia, subdivide los lóbulos del hígado en segmentos, basados en las divisiones principales de la arteria hepática, la vena porta y los conductos hepáticos. La figura 25.20f indica de forma aproximada la separación de dichos segmentos. Los límites precisos no pueden determinarse sin proceder a la disección del órgano.

Irrigación del hígado [v. figuras 22.17/22.26/25.17a/25.20d] La circulación de la sangre en el hígado se describe con detalle en el capítulo 22 y se resume en las figuras 22.17 y 22.26 [pp. 589, 600]. Los vasos sanguíneos aferentes y otras estructuras llegan al hígado a través del tejido conjuntivo del epiplón menor y convergen en una región conocida como **porta hepática** («puerta al hígado»).

Dos vasos sanguíneos regulan la circulación de sangre en el hígado, la **arteria hepática propia** y la **vena porta hepática** (v. figuras 25.17a y 25.20d). Aproximadamente un tercio del flujo sanguíneo hepático normal llega a través de la arteria hepática, mientras que el resto es aportado por la vena porta hepática. La sangre regresa a la circulación sistémica a través de las **venas hepáticas,** que se abren a la vena cava inferior. La irrigación arterial aporta al hígado sangre oxigenada, mientras que la vena porta hepática proporciona nutrientes y otros agentes químicos absorbidos en el intestino.

TABLA 25.1 Principales funciones del hígado

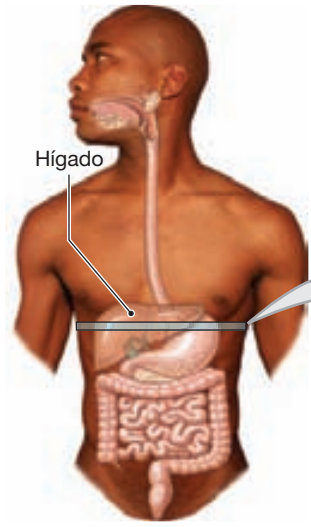
FUNCIONES DIGESTIVAS Y METABÓLICAS
Síntesis de somatomedinas
Síntesis y secreción de bilis
Almacenamiento de glucógeno y reservas lipídicas
Mantenimiento de concentraciones sanguíneas normales de glucosa, aminoácidos y ácidos grasos
Síntesis e interconversión de tipos de nutrientes
Síntesis y liberación de colesterol fijado a proteínas de transporte
Inactivación de toxinas
Almacenamiento de reservas de hierro
Almacenamiento de vitaminas liposolubles
OTRAS FUNCIONES DESTACADAS
Síntesis de proteínas plasmáticas
Síntesis de factores de coagulación
Síntesis de la forma hormonal inactiva angiotensinógeno
Fagocitosis de eritrocitos dañados (por las células de Kupffer)
Almacenamiento de sangre (principal contribuyente a la reserva venosa)
Absorción y descomposición de hormonas circulantes (incluidas insulina y adrenalina) e inmunoglobulinas
Absorción e inactivación de fármacos liposolubles

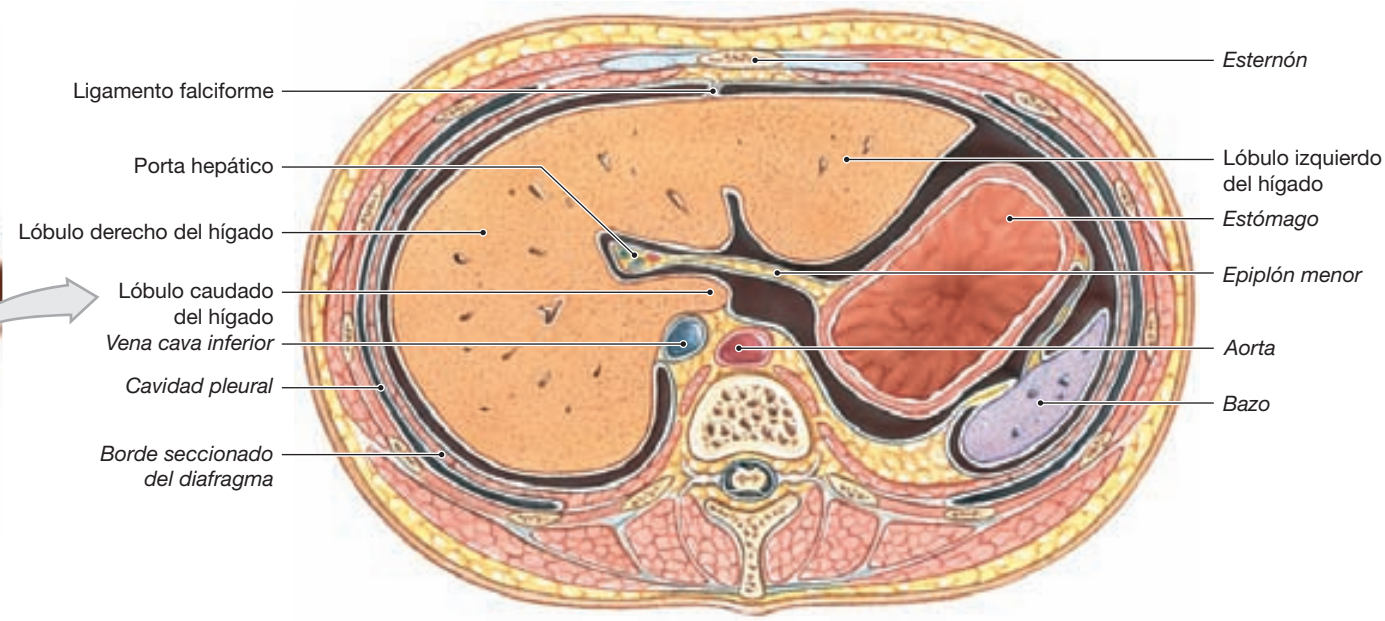
Organización histológica del hígado [v. figura 25.21]

Cada lóbulo hepático está dividido por tejido conjuntivo en unos 100.000 **lobulillos hepáticos,** que constituyen las unidades funcionales básicas del hígado. La organización histológica y la estructura propias de un lobulillo hepático se muestran en la figura 25.21.

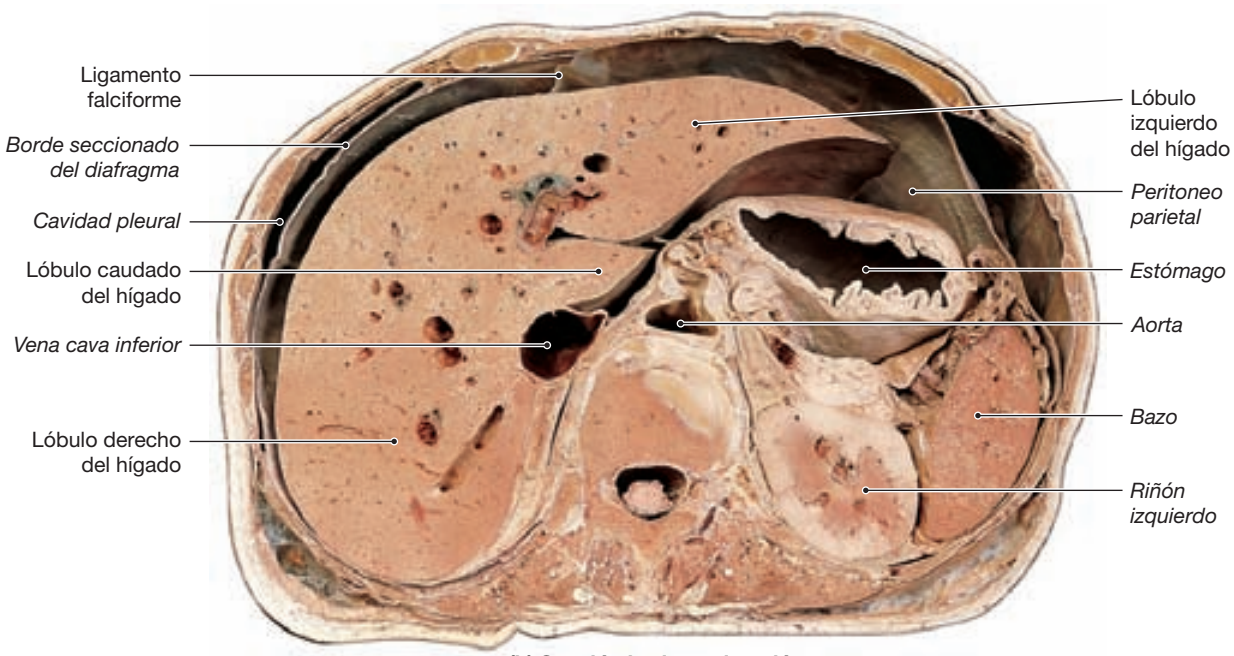
Lobulillo hepático [v. figura 25.21] Las células hepáticas, o **hepatocitos,** de un lobulillo hepático conforman una serie de placas irregulares que se encuentran dispuestas como los radios de una rueda (v. figura 25.21a,c). Las placas tienen una sola célula de espesor y las superficies expuestas de los hepatocitos se hallan recubiertas de microvellosidades cortas. Los sinusoides entre placas adyacentes evacuan a una **vena central** (v. figura 25.21b). Las paredes fenestradas de los sinusoides contienen grandes aperturas que permiten que las sustancias pasen a la circulación y a los espacios que rodean a los hepatocitos. Además de las típicas células endoteliales, el revestimiento sinusoidal incluye un gran número de **células de Kupffer,** que también son conocidas como *células reticuloendoteliales estrelladas.* Estas células fagocíticas constituyen una parte de sistema monocito-macrófago y engloban patógenos, residuos celulares y células sanguíneas dañadas. Las células de Kupffer también engloban y retienen a los metales pesados, como el estaño o el mercurio, que hayan sido absorbidos por el tubo digestivo.

La sangre entra en los sinusoides hepáticos procedente de las ramas menores de la vena porta y la arteria hepática. Un lobulillo típico presenta forma hexagonal en sección transversal (v. figura 25.21a,b). Hay seis **áreas portales,** o *tríadas hepáticas,* una en cada ángulo del lobulillo. Un espacio porta (v. figura 25.21c) contiene tres estructuras: 1) una rama de la vena





(a) Sección horizontal



(b) Sección horizontal, cadáver

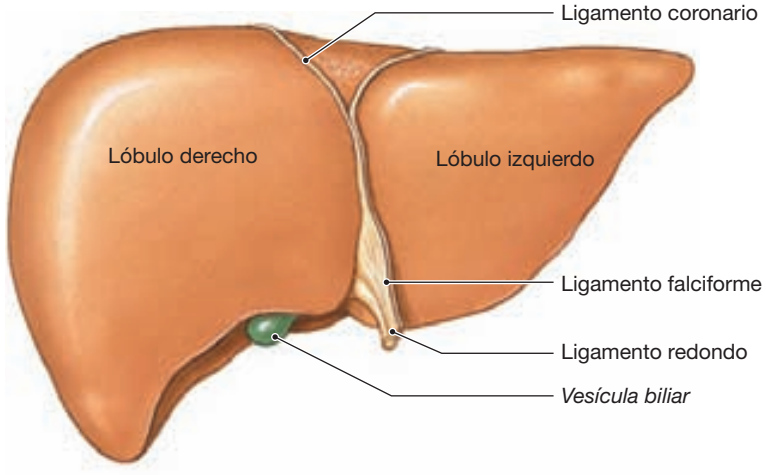
Figura 25.20 Anatomía del hígado

(a) Sección horizontal del abdomen superior, que muestra la posición del hígado en relación a otros órganos. **(b)** Sección horizontal del abdomen superior, que muestra las estructuras ilustradas en la parte (a). **(c)** Referencias anatómicas de la parte anterior del hígado. **(d)** Parte posterior del hígado. **(e)** Molde del hígado, que muestra la vesícula, los conductos biliares y los vasos sanguíneos asociados, desde las superficies inferior y posterior. **(f)** Separaciones aproximadas de los segmentos principales del hígado.

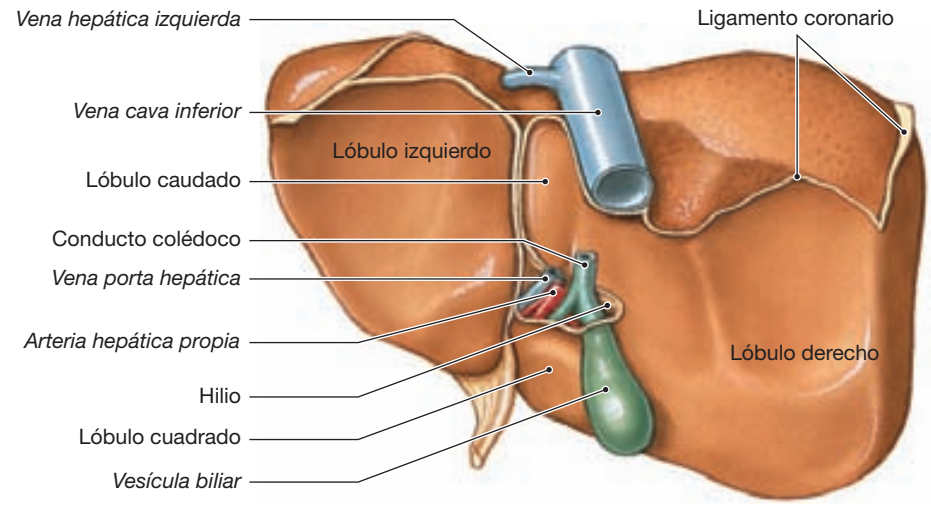
porta hepática; 2) una rama de la arteria hepática propia, y 3) una pequeña rama del conducto hepático.

Las ramas arteriales y venosas aportan sangre a los sinusoides de los lobulillos adyacentes (v. figura 25.21a). A medida que la sangre fluye por los sinusoides, los hepatocitos absorben y secretan materiales a la circulación sanguínea a través de sus superficies expuestas. A continuación, la sangre abandona los sinusoides y pasa a la vena central del lobulillo. En última instancia, las venas centrales se funden para formar venas hepáticas que drenan a la vena cava inferior.

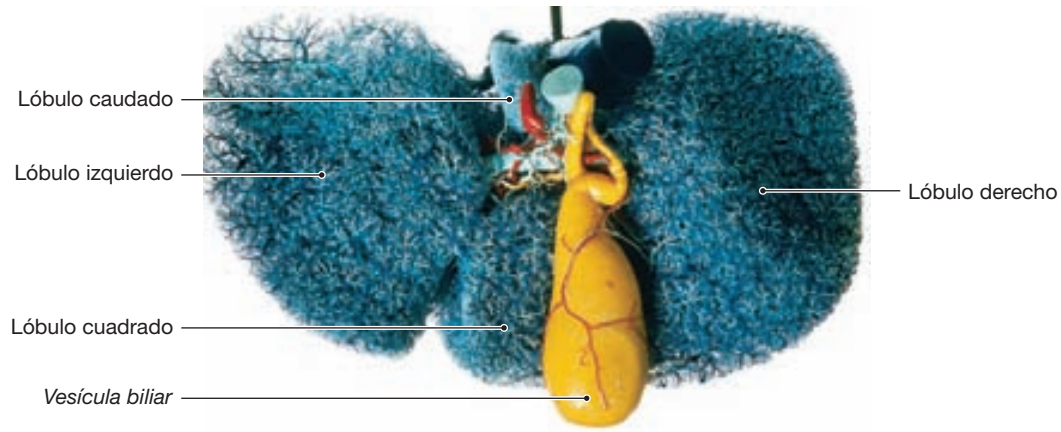
Secreción y transporte de bilis [v. figuras 25.21a/25.22] La bilis es secretada a una red de estrechos canales entre las membranas opuestas de los hepatocitos adyacentes. Estos pequeños pasos, denominados **canalículos biliares,** que se extienden hacia el lobulillo lejos de la vena central. Los canalículos se conectan finalmente con los pequeños **conductillos biliares,** que conducen la bilis a un conducto biliar en el área portal más próxima (v. figura 25.21a). Los **conductos hepáticos derecho** e **izquierdo** recogen la bilis procedente de los conductos biliares de los lóbulos del hígado. Estos conductos se unen para formar el **conducto hepático común** que sale del hígado. A través de este con-



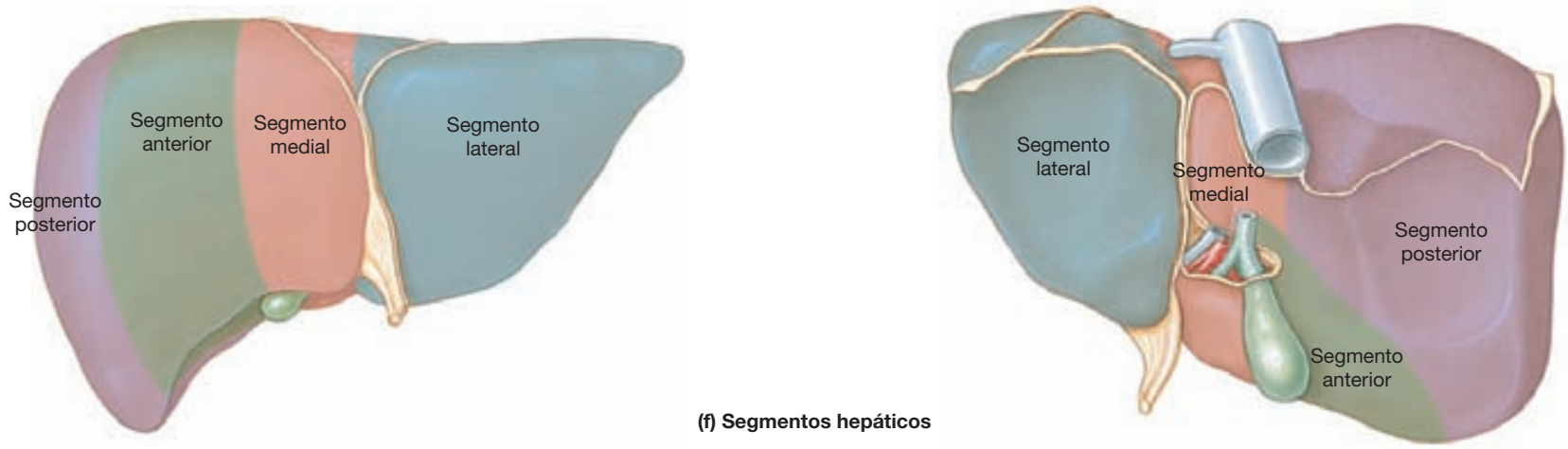
(c) Superficie anterior



(d) Superficie posterior



(e) Molde del hígado, superficie posterior



(f) Segmentos hepáticos

Figura 25.20 ***(cont.)***

ducto la bilis puede: 1) fluir al *conducto colédoco*, que desemboca en el duodeno, o 2) entrar en el *conducto cístico*, que comunica con la vesícula biliar. Estas estructuras se ilustran y se muestran en una radiografía en la **figura 25.22.**

Vesícula biliar [v. figuras 25.16/25.22]

La **vesícula biliar** es un órgano muscular hueco, con forma de pera. Es un saco muscular que almacena y concentra la bilis antes de su excreción al intestino delgado. Se localiza en un seno, o fosa, en la superficie visceral del lóbulo derecho. Como el hígado, la vesícula biliar es intraperitoneal.

La vesícula biliar está dividida en tres áreas: el **fondo,** el **cuerpo,** y el **cuello** (v. figura 25.22a,c). El **conducto cístico** comunica la vesícula biliar y el porta hepático, donde el conducto hepático común y el conducto cístico se unen para formar el **conducto colédoco** (v. figura 25.22a). En el duodeno, el **esfínter de la ampolla hepatopancreática,** o *esfínter de Oddi*, *muscular,* rodea la luz del conducto colédoco y la ampolla duodenal (v. figuras 25.16, p. 676, y 25.22b). La ampolla duodenal se abre dentro del duodeno en la papila duodenal, una pequeña proyección elevada. La contracción de este esfínter cierra la vía de paso y evita que la bilis entre en el intestino delgado.

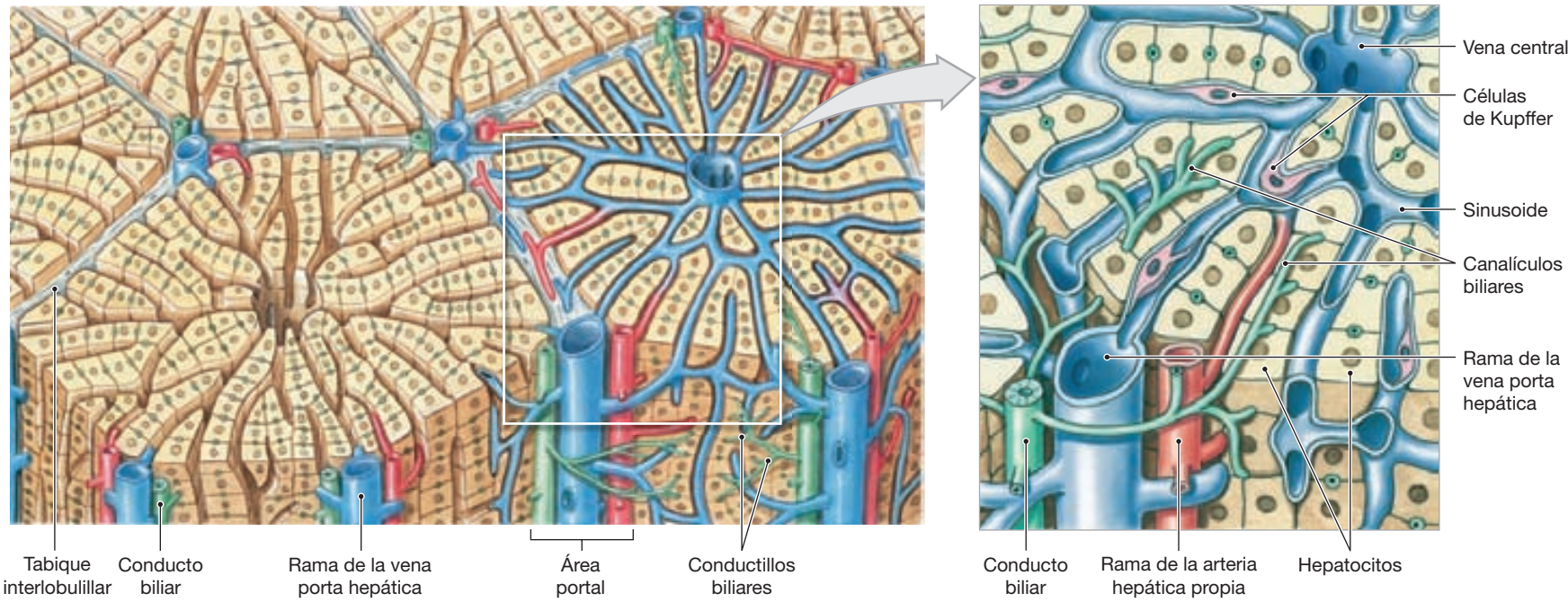


Figura 25.21 Histología del hígado
(a) Esquema de la organización lobulillar. **(b)** Imagen al microscopio óptico (MO) de lobulillos hepáticos de mamífero. Los lobulillos hepáticos humanos carecen de delimitaciones diferenciadas de tejido conjuntivo, lo que dificulta su identificación en un corte histológico. **(c)** Microfotografía óptica que muestra un detalle del área portal (tríada hepática).

La vesícula biliar tiene dos funciones, el *almacenamiento* y la *modificación de la bilis*. Cuando el esfínter de la ampolla hepatopancreática está cerrado, la bilis entra en el conducto cístico. Mientras la bilis no fluye a través del conducto colédoco, entra en el conducto cístico para almacenarse en la vesícula biliar, dilatable. Cuando está llena, la vesícula contiene 40-70 mL de bilis. Si esta permanece en la vesícula, su composición va cambiando. El agua de la bilis es absorbida y las sales biliares y otros componentes aumentan su concentración.

La eyección de bilis se produce por estimulación de la hormona *colecistocinina* (CCK), que es liberada al flujo sanguíneo en el duodeno, cuando llega a él el quimo conteniendo grandes cantidades de lípidos y proteínas parcialmente digeridas. La CCK produce relajación del esfínter de la ampolla hepatopancreática y contracción de la vesícula.

Páncreas [v. figuras 22.26/23.17a/25.22a/25.23]

El **páncreas** se su sitúa detrás del estómago, extendiéndose lateralmente desde el duodeno hacia el bazo (**v. figuras 25.22a, 25.23** y **23.17a**) [p. 620]. Es un órgano alargado, de color gris-rosado, de unos 15 cm de longitud y unos 80 g de peso. La ancha **cabeza** del páncreas se dispone en el asa formada por el duodeno al salir del píloro. El **cuerpo,** más delgado, se extiende transversalmente hacia el bazo, y la **cola** es corta y de punta roma y redondeada. El páncreas es secundariamente retroperitoneal y se halla firmemente fijado a la pared posterior de la cavidad abdominal.

La superficie del páncreas es de textura grumosa y nodular y está rodeada por una fina cápsula de tejido conjuntivo transparente. Los lobulillos pancreá-

ticos, los vasos sanguíneos asociados y los conductos excretores pueden apreciarse a través de la cápsula anterior y de la capa subyacente de peritoneo.

El páncreas es fundamentalmente un órgano exocrino, que produce enzimas digestivas y sustancias tampón, aunque también desarrolla una función endocrina, como se indicó en el capítulo 19 [p. 578]. El conducto pancreático principal *(conducto de Wirsung)* libera estas secreciones a la ampolla duodenal. Un pequeño **conducto accesorio pancreático,** o *conducto de Santorini,* puede ramificarse del conducto pancreático antes de salir del páncreas (v. figura 25.23a). Cuando está presente, este conducto accesorio evacua al duodeno en una papila separada, la *papila duodenal menor,* que se sitúa unos pocos centímetros proximal a la papila mayor.

La sangre arterial llega al páncreas a través de ramas de las *arterias esplénica, mesentérica superior* y *hepática común* (v. figuras 22.17 y 23.23a) [p. 620]. Las **arterias pancreáticas** y las **arterias pancreaticoduodenales (superior** e **inferior)** son las ramas principales de estos vasos. El páncreas es drenado por la *vena esplénica* y sus ramas (v. figura 22.26) [p. 600].

Organización histológica del páncreas [v. figura 25.23b,c]

Unos tabiques de tejido conjuntivo dividen el tejido pancreático en diferentes lobulillos (v. figura 25.23b,c). En estos tabiques de tejido conjuntivo se encuentran los vasos sanguíneos y las ramas de los conductos pancreáticos. El páncreas es un ejemplo de glándula tubuloacinar compuesta [p. 60]. Dentro de cada lobulillo, los conductos se ramifican repetidamente antes de terminar en cavidades ciegas, los **ácinos pancreáticos.** Cada ácino está revestido por un epitelio

Nota clínica

Problemas de almacenamiento y secreción de bilis Si la bilis se hace demasiado concentrada, comienzan a formarse cristales de minerales y sales insolubles. Estos depósitos se denominan **cálculos biliares.** El simple hecho de padecerlos, un trastorno denominado **colelitiasis,** no supone en realidad un problema, ya que los cálculos mantienen en general dimensiones muy reducidas, por lo que son normalmente eliminados a través del conducto biliar.

Cuando los cálculos biliares penetran en los conductos cístico o biliar obstruyéndolos, se presentan síntomas dolorosos de **colecistitis.** La vesícula biliar se inflama, pueden producirse infecciones y, si el cálculo que produce la obstrucción no sigue su recorrido del colédoco al duodeno, ha de ser extirpado o destruido. Los cálculos pequeños pueden ser disgregados por medios químicos. Uno de los agentes que actualmente se está estudiando a este respecto es el *metil terbutil éter (MTBE).* Cuando se introduce en la vesícula biliar, esta sustancia disgrega el cálculo en cuestión de horas. Por desgracia, es frecuente que los cálculos reaparezcan. La salud y la función digestiva parecen no verse afectadas en absoluto por la extirpación de la vesícula, por lo que esta se aconseja a personas con cálculos, aunque sean asintomáticos. Para cálculos grandes suele ser necesaria la cirugía y en ella se suele extirpar también la vesícula para evitar recidivas. El procedimiento puede realizarse mediante laparoscopia, a través de varias pequeñas incisiones.

Otro tratamiento de la colecistitis se basa en la inmersión de la persona afectada en un baño de agua sobre un almohadón blando y la disgregación del cálculo mediante ultrasonidos dirigidos. El aparato usado en este caso se denomina *litotriptor.* Con él se obtienen partículas lo suficientemente pequeñas como para ser eliminadas sin dificultad a través del conducto biliar.

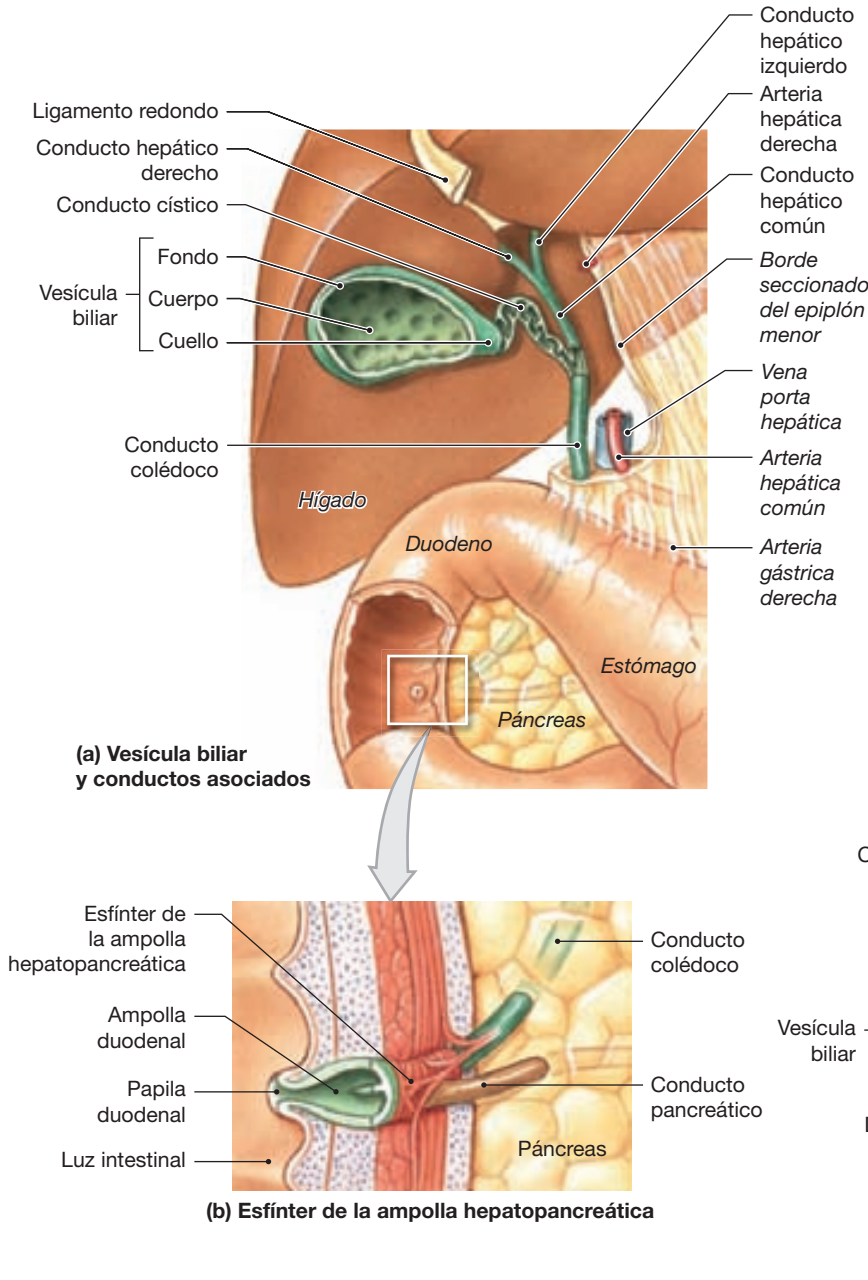


Figura 25.22 Histología del hígado
(a) Vista de la superficie inferior del hígado, que muestra la posición de la vesícula biliar y de los conductos que transportan la bilis a esta y al duodeno. **(b)** Una porción del epiplón menor aparece seccionada para facilitar la observación de las relaciones entre los conductos colédoco, hepático y cístico. **(c)** Radiografía (colangiopancreatografía anteroposterior) de la vesícula y los conductos biliares y pancreáticos.

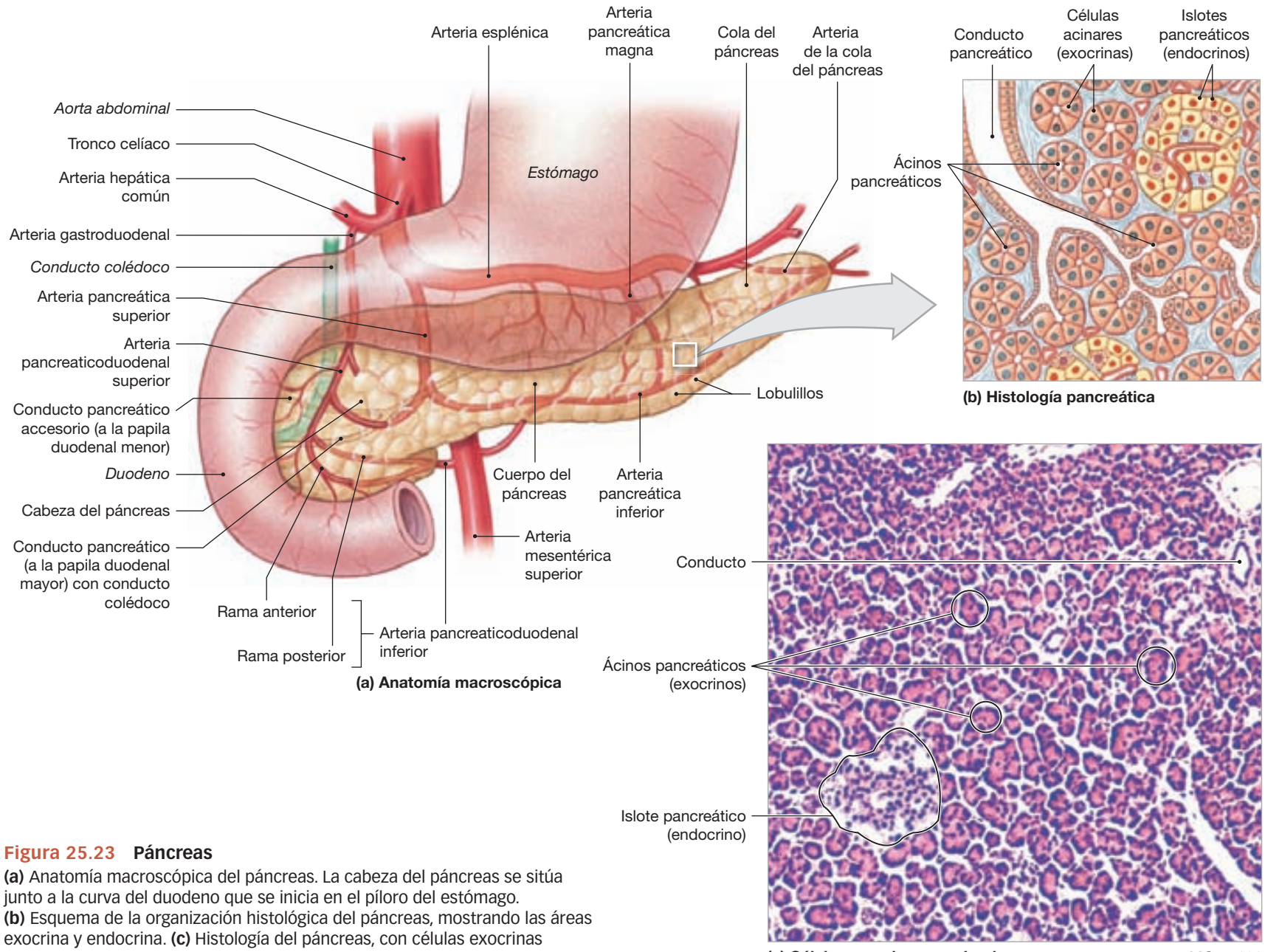


Figura 25.23 Páncreas

(a) Anatomía macroscópica del páncreas. La cabeza del páncreas se sitúa junto a la curva del duodeno que se inicia en el píloro del estómago. **(b)** Esquema de la organización histológica del páncreas, mostrando las áreas exocrina y endocrina. **(c)** Histología del páncreas, con células exocrinas y endocrinas.

cúbico simple. Los *islotes pancreáticos* están dispersos entre los ácinos, aunque sólo constituyen el 1% de las células pancreáticas.

Los ácinos pancreáticos secretan una mezcla de agua, iones y enzimas digestivas al duodeno. Esta secreción, llamada **jugo pancreático,** contiene enzimas pancreáticas. Dichas enzimas realizan la mayor parte del trabajo digestivo en el intestino delgado, descomponiendo la materia ingerida en pequeñas moléculas adecuadas para ser absorbidas. Los conductos pancreáticos secretan sustancias tampón (sobre todo bicarbonato sódico) en solución acuosa. Tales secreciones son importantes para neutralizar el ácido en el quimo y para estabilizar el pH del contenido intestinal.

Enzimas pancreáticas

Las enzimas pancreáticas se clasifican en función de los objetivos para los que están destinadas. Las **lipasas** digieren lípidos, las **carbohidrasas,** como la amilasa pancreática, digieren azúcares y almidones, las **nucleasas** degradan los ácidos nucleicos y las **enzimas proteolíticas** descomponen las proteínas. Entre las enzimas proteolíticas se encuentran las **proteinasas** y las **peptidasas.** Las primeras actúan sobre largos complejos proteicos, mientras que las segundas descomponen las cadenas peptídicas cortas en aminoácidos.

Regulación de la secreción pancreática

La secreción de jugo pancreático se produce sobre todo en respuesta a las instrucciones hormonales procedentes del duodeno. Cuando el quimo ácido llega al intestino delgado se libera secretina. Esta hormona da lugar a la producción de jugo pancreático que contiene tampones, en especial bicarbonato sódico. Otra hormona duodenal, la colecistocinina, estimula la producción y secreción de enzimas pancreáticas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. En la fibrosis quística, el conducto pancreático puede quedar bloqueado por secreciones espesas. ¿Con la digestión de qué grupo de nutrientes interferiría esta enfermedad?
2. ¿Cuáles son las tres funciones principales del hígado?
3. ¿Qué función tiene la contracción del esfínter de la ampolla hepatopancreática?
4. ¿Cuáles son las funciones del páncreas?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Envejecimiento y aparato digestivo

En esencia, la digestión y la absorción en ancianos son normales. Sin embargo, en el aparato digestivo se registran numerosos cambios relacionados con la edad, como sucede en otros sistemas.

1. *La velocidad en la división de células madre epiteliales disminuye:* el epitelio digestivo se hace más susceptible al daño por abrasión, ácidos o enzimas. Las células madre del epitelio se dividen menos frecuentemente con la edad, por lo que la reparación de los tejidos es menos eficaz. En boca, esófago y ano, el epitelio estratificado se hace más delgado y frágil.
2. *El tono del músculo liso se reduce:* la motilidad general disminuye y las contracciones peristálticas son más débiles. Ello hace que la velocidad de movimiento del quimo sea menor, lo que favorece el estreñimiento. La pérdida de vigor de las paredes de las haustras del colon puede producir síntomas de *diverticulitis*. El esfuerzo para eliminar el material fecal compactado da lugar en ocasiones a pérdida de resistencia de los vasos sanguíneos y, en consecuencia, a *hemorroides*. El debilitamiento del esfínter del cardias produce *reflujo gastroesofágico,* una causa común de ardor epigástrico.
3. *Los efectos del daño acumulativo se hacen manifiestos:* un ejemplo sencillo es la pérdida gradual de los dientes, por caries o gingivitis. Este daño acumulativo también puede afectar a órganos internos. Tóxicos como el alcohol, los metales pesados y otros agentes químicos absorbidos por el tubo digestivo son transportados al hígado para ser procesados o almacenados. Las células hepáticas no son inmunes a estos agentes y la exposición crónica causa a veces *cirrosis* u otras hepatopatías.
4. *La frecuencia de cáncer aumenta:* los cánceres son más frecuentes en órganos en los que las células madre se dividen para mantener la población celular epitelial [p. 78]. La incidencia de los cánceres de colon y estómago aumenta en los ancianos; los cánceres orales y faríngeos son particularmente frecuentes en fumadores de edad avanzada.
5. *Los cambios en otros sistemas tienen efectos directos o indirectos sobre el aparato digestivo:* por ejemplo, la reducción de la masa ósea y el contenido de calcio en el esqueleto se asocian a la erosión de las cavidades dentarias y a la caída de los dientes. La pérdida de sensibilidad olfativa y gustativa con la edad induce cambios dietéticos que afectan a todo el organismo.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato digestivo, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Caso clínico

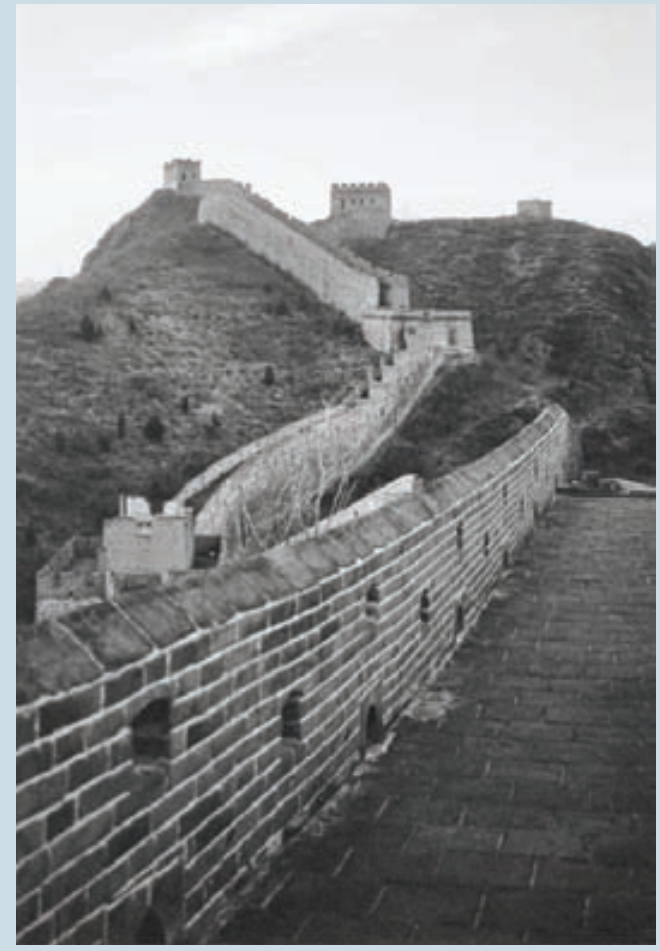
APARATO DIGESTIVO

CHINA ERA MAGNÍFICA, PERO…

Bohdan imparte clases de Microbología en una escuela universitaria del Medio Oeste. Durante la última década se ha interesado por China y las enfermedades infecciosas propias del país asiático. Por fin, después de mucho pensarlo, ha decidido pasar su año sabático de formación en Pekín. Va a estudiar las enfermedades infecciosas endémicas en el Hospital Youan de Pekín, conocido por sus trabajos en esta área. Este será el primer viaje de Bohdan fuera de EE. UU. y está muy ilusionado por todo, excepto por la alimentación. Bohdan tiene un aparato digestivo muy sensible y, en los últimos 2 meses, ha venido sufriendo diarrea crónica intermitente. Además, las comidas picantes siempre le han causado prolongadas molestias digestivas. Antes de su partida, los amigos de Bohdan le llevaron a varios restaurantes chinos, para «acostumbrarle» a los alimentos nuevos y diferentes. Durante 3 semanas, Bohdan probó distintos platos y el resultado de ello fueron los consiguientes episodios de diarrea y dolor abdominal. La cocina de Sichuan, especialmente picante, le produjo los trastornos digestivos más intensos. Bohdan optó por hacerse con una provisión del antidiarreico loperamida antes de viajar a Pekín.

Una vez que llegó allí, Bohdan se encontró con la agradable sorpresa de que parecía adaptarse relativamente bien a su nueva dieta. Los episodios de diarrea no empeoraban y parecía mantenerse bajo control, comiendo grandes cantidades de arroz, fideos chinos y panecillos.

A las 3 semanas Bohdan comenzó a sentirse más débil de lo normal y los episodios de diarrea se hicieron más frecuentes. El profesor responsable de sus estudios en el hospital, el Dr. Xiaouyun Liu, indicó a Bohdan que tomara más líquidos de lo habitual para evitar la deshidratación y que se sometiera a una serie de pruebas.



Casoc línico *(cont.)*

Exploración inicial

El Dr. Xiaouyun Liu realiza a Bohdan una exploración física completa y observa lo siguiente:

- Recuento leucocitario elevado ($13 \times 10^{13}/mm^3$).
- Recuento plaquetario ligeramente alto ($450.000/mm^3$).
- Volumen corpuscular medio (VCM) bajo (75 fl).
- Temperatura normal (37 °C).
- Dolor abdominal en la línea media, entre la apófisis xifoides y el ombligo. Sin dolorimiento en esa área.

El Dr. Xiaouyun Liu piensa que Bohdan puede padecer apendicitis o síndrome del intestino irritable. No obstante, le indica que se realice varias pruebas fecales para detectar patógenos bacterianos o parásitos. También requiere una prueba de sangre oculta en heces de 3 días. Se informa a Bohdan que, dependiendo de los resultados, en el siguiente estudio de seguimiento deberá someterse a un estudio radiográfico y a una colonoscopia.

Al cabo de los 3-4 días de la exploración inicial, la diarrea se hace casi constante y el dolor abdominal se intensifica. Bohdan sigue debilitándose. Lleva las muestras de sangre al hospital, donde se le realizan pruebas hematológicas adicionales, una radiografía abdominal y una colonoscopia.

Figura 25.24 **Inflamación del colon, vista con colonoscopia**

Exploración de seguimiento

El médico nota lo siguiente:

- El dolor abdominal se ha intensificado sin cambiar de localización.
- La temperatura de Bohdan se mantiene normal.
- La prueba de heces no presenta signos de infección bacteriana o parasitaria; sin embargo, aunque es positiva para pérdida intestinal de oligoelementos.
- Los niveles sanguíneos continúan empeorando. Los recuentos leucocitario y plaquetario se mantienen elevados, el VCM sigue siendo bajo y el hematocrito es también reducido (38%).
- La concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) es baja (25 g/dL).
- La radiografía abdominal detecta un engrosamiento segmentario de las paredes del colon, con obstrucción incompleta en el colon transverso; la colonoscopia evidencia inflamación de la pared colónica (**v. figura 25.24**).

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en el capítulo 25.

1. La cavidad abdominal se subdivide en varias áreas superficiales para facilitar el proceso de examen. ¿Qué regiones están localizadas en la línea media entre la apófisis xifoides y el ombligo?
2. ¿Qué estructuras del aparato digestivo se encuentran en la línea media, entre la apófisis xifoides y el ombligo?
3. Inicialmente, el médico pensaba que Bohdan podía estar en las primeras fases de una apendicitis. ¿En qué región de la cavidad abdominal se encuentra el apéndice?

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar el material correspondiente, acuda a la la página entre corchetes.

1. La cavidad abdominal se divide en nueve regiones superficiales. Las regiones epigástrica y abdominal se localizan en la línea media entre la apófisis xifoides y el ombligo [p. 15].
2. En las regiones epigástrica y umbilical del abdomen se encuentran las siguientes estructuras digestivas: hígado, esófago, estómago, páncreas, duodeno, yeyuno e íleon, p. 671.
3. El apéndice se encuentra en la región ilíaca derecha del abdomen, p. 671.

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

anemia: Cualquier alteración en la que el número de eritrocitos por mm^3, el volumen de eritrocitos concentrados por 100 mL de sangre o la cantidad de hemoglobina por 100 mL estén reducidos.
crónico: Trastorno a largo plazo o prolongado.
diarrea: Evacuación anormalmente frecuente de heces acuosas.
enfermedad autoinmunitaria: Patología en la que una persona desarrolla una reacción inmunitaria frente a sus propios tejidos corporales. Determina que los tejidos de la persona afectada sean atacados por su propio sistema linfático, con destrucción y degradación de los mismos.
leucocitosis: Número anormalmente alto de leucocitos por 100 mL de sangre.
loperamida: Medicamento antidiarreico de venta libre.
prueba de sangre oculta en heces: Prueba fecal que determina la presencia de sangre no visible en heces.
velocidad de sedimentación: Velocidad a la que los eritrocitos se decantan en el fondo de un tubo de ensayo en sangre tratada con anticoagulante. Su elevación se relaciona a menudo con anemia o procesos inflamatorios.

Casoc línico *(cont.)*

Diagnóstico

Según los síntomas y los resultados de laboratorio, Bohdan presenta una de las formas de enfermedad inflamatoria intestinal (EII). La EII es una patología de origen desconocido. Se cree que puede ser una enfermedad autoinmunitaria en la que una persona desarrolla una reacción inmunitaria contra su propio tracto intestinal. En EE. UU., en torno a un millón de personas la padecen. A nivel internacional, la EII es más común en áreas urbanas desarrolladas que en zonas rurales de países en vías de desarrollo. La incidencia es además mayor en países de clima frío. Las dos formas principales de EII son la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn. Los afectados de colitis ulcerosa desarrollan úlceras en uno o varios segmentos del colon. La enfermedad de Crohn afecta de forma característica al segmento distal del íleon del intestino delgado. La forma de EII diagnosticada a Bohdan es la enfermedad de Crohn.

En ella, el sistema linfático produce inflamación de la lámina propia. Ello da lugar a que los macrófagos ataquen las capas de la pared intestinal, de la mucosa a la serosa. Debido a la inflamación crónica inducida por la enfermedad de Crohn, la pared intestinal queda significativamente engrosada, y su luz estrechada.

Los síntomas generales son fiebre, dolor, diarrea y fatiga crónica. También es frecuente la pérdida de peso. La inflamación del intestino delgado puede causar dolor repentino y localizado en la región ilíaca derecha. En el examen físico se aprecia sensibilidad en esta región, con sensación de plenitud o masa asociadas. También se registran anemia, leucocitosis y velocidad de sedimentación elevada.

La obstrucción intestinal en áreas estrechadas del intestino es una complicación que sucede con bastante frecuencia. En su fase inicial, la obstrucción debida a edema e inflamación (generalmente en el íleon) es reversible. A medida que la enfermedad progresa, se desarrolla fibrosis, que hace disminuir la diarrea y aumenta la incidencia de estreñimiento y obstrucción intestinal. ■

TÉRMINOS CLÍNICOS

acalasia: Bloqueo de la parte inferior del esófago debido a peristaltismo débil y disfunción del esfínter esofágico inferior.

cirrosis: Afección causada por cicatrización del tejido hepático tras destrucción de hepatocitos por exposición a fármacos, infección vírica, isquemia u otros factores.

colecistitis: Trastorno doloroso causado por bloqueo de los conductos cístico o colédoco por cálculos biliares.

colelitiasis: Presencia de cálculos en la vesícula biliar.

colitis: irritación del colon, que produce mal funcionamiento intestinal.

colostomía: Fijación y abertura del colon a la pared abdominal, derivando la porción distal del intestino delgado.

diarrea: Deposiciones frecuentes y acuosas. Los brotes de diarrea, de varios días de duración, son causados por infecciones bacterianas, víricas o protozoarias del colon o el intestino delgado.

diverticulosis: Afección en la que se forman saculaciones *(divertículos)* en la mucosa del colon, en general en el sigmoide.

enfermedad periodontal: Afección progresiva derivada de la erosión de las conexiones entre el cuello de los dientes y la encía

enteritis: Irritación del intestino delgado por toxinas u otros irritantes; causa diarrea debida al peristaltismo frecuente en el intestino delgado.

esofagitis: Inflamación del esófago por erosión a cargo de los jugos gástricos.

estreñimiento: Defecación infrecuente de heces pequeñas, secas y duras, generalmente menos de tres veces por semana. Se produce cuando la materia fecal se mueve en el colon tan despacio que se reabsorbe demasiada agua. Una ingesta inadecuada de fibra y agua y la falta de ejercicio son causas comunes de estreñimiento.

gastrectomía: Extirpación quirúrgica del estómago; tratamiento potencial del cáncer gástrico.

gastritis: Inflamación de la mucosa gástrica.

gastroenteritis: Vómitos y diarreas causados por un estímulo irritante potente.

gastroscopio: Instrumento de fibra óptica usado para visualizar el interior del estómago.

grapado y derivación gástricos: Técnicas quirúrgicas para favorecer la pérdida de peso bloqueando una parte extensa de la luz gástrica.

pancreatitis: Inflamación del páncreas debida a bloqueo de los conductos pancreáticos, infección bacteriana o vírica o reacciones a fármacos.

parotiditis: Infección vírica que suele afectar a las glándulas salivales parótidas entre los 5 y los 9 años de edad.

peritonitis: Afección dolorosa debida a inflamación de la membrana peritoneal.

placa dentaria: Depósito denso de partículas de alimento y secreciones bacterianas en la superficie de los dientes.

síndrome del intestino irritable: Trastorno digestivo caracterizado por diarrea, estreñimiento o alternancia de ambos. Cuando el estreñimiento es el principal problema, el cuadro se llama en ocasiones colon espástico o colitis espástica.

úlcera péptica: Erosión localizada en la mucosa gástrica o duodenal por ácidos y enzimas del quimo.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 656

1. El aparato digestivo está formado por el tubo digestivo y varios órganos accesorios *(v. figura 25.1)*.
2. Entre las funciones digestivas se cuentan *ingestión, procesamiento mecánico, digestión, secreción, absorción, compactación y excreción.*

Introducción al aparato digestivo 656

Organización histológica del tubo digestivo 656

1. La **lámina propia** y el epitelio forman la **mucosa (membrana mucosa)** del tubo digestivo. Sus capas principales son la **submucosa** (tejido areolar), la **muscular propia** (una región de músculo de fibras de músculo liso) y la membrana **serosa** (en la cavidad peritoneal) *(v. figura 25.2)*.

2. El tubo digestivo está revestido por un **epitelio mucoso** lubricado por secreciones glandulares de los órganos epiteliales y accesorios. El revestimiento contiene pliegues que favorecen su expansión *(v. figura 25.2)*.

Capas musculares y movimiento de los materiales digestivos 657

3. Las células de músculo liso del tubo digestivo presentan plasticidad, es decir, capacidad para soportar tensiones extremas. El aparato digestivo contiene tejido muscular liso visceral en el que las células están dispuestas en láminas y no presentan inervación motora. La presencia de **células marcapasos** permite el desarrollo de ondas rítmicas de contracción que se extienden por la lámina.
4. La muscular propia impulsa los materiales a través del tubo digestivo mediante contracciones de **peristaltismo.** Los movimientos de **segmentación** en el intestino delgado proceden a la mezcla de los materiales digestivos *(v. figura 25.3)*.

Peritoneo 660

5. La serosa, también llamada **peritoneo visceral,** forma una continuidad con el **peritoneo parietal** que reviste el interior de la pared abdominal.
6. Dobles láminas fundidas de tejido peritoneal, llamadas **mesenterios,** sostienen diversas partes del tubo digestivo *(v. figura 25.2a)*.
7. Los órganos de la cavidad abdominal presentan diversas relaciones con el peritoneo, siendo **intraperitoneales, retroperitoneales** o **secundariamente retroperitoneales.**
8. Los principales mesenterios son el **epiplón mayor,** el **epiplón menor,** el **mesenterio propio,** o simplemente **mesenterio,** el **mesocolon transverso** y el **mesocolon sigmoide**, El colon ascendente, el descendente, el duodeno y el páncreas están fijados a la pared posterior de la cavidad abdominopélvica y son **retroperitoneales** *(v. figuras 25.4/25.10/25.11)*.

Cavidad oral 662

1. Entre las funciones de la cavidad oral se cuentan: 1) **análisis** de los potenciales alimentos; 2) **procesamiento mecánico** con los dientes, la lengua y las superficies palatinos; 3) **lubricación** por mezcla de moco y secreciones salivares, y 4) **digestión** por las enzimas salivales. Sus estructuras incluyen la boca, las glándulas salivales y los dientes *(v. figura 25.5)*.

Anatomía de la cavidad oral 662

2. La **cavidad bucal** (u oral) está revestida de epitelio escamoso estratificado. Los paladares **duro y blando** forman su techo. Otros rasgos importantes aparecen en la *figura 25.5*.
3. La **lengua** ayuda al procesamiento mecánico y manipulación del alimento y a su análisis sensorial. La superficie superior **(dorso)** del **cuerpo** de la lengua está cubierta de *papilas*. La parte inferior contiene una delgada membrana mucosa llamada **frenillo de la lengua.** Los **músculos de la lengua intrínsecos** y **extrínsecos** son controlados por el nervio hipogloso *(v. figura 25.5)*.
4. Las **glándulas salivales parótida, sublingual** y **submandibular** descargan sus secreciones a la cavidad oral. La primera produce **amilasa salival,** que inicia la descomposición de carbohidratos *(v. figuras 25.5/25.6)*.
5. La **saliva** lubrica y enjuaga la boca, solubiliza el alimento, disuelve los compuestos químicos y ayuda a controlar las bacterias. La salivación suele ser regulada por el sistema nervioso autónomo.
6. La **dentina** forma la estructura básica del diente. La **corona** está revestida de **esmalte** y la **raíz** de **cemento.** El **cuello** señala el límite entre la raíz y la corona. El **ligamento periodontal** fija el diente en una cavidad alveolar. La **masticación** se produce por el contacto de **superficies oclusales** opuestas de los dientes *(v. figura 25.7)*.
7. Hay cuatro tipos de dientes, cada uno con funciones específicas: **incisivos**, para cortar, **caninos** (o cúspides), para desgarrar, **premolares** (o bicúspides), para machacar, y **molares**, para desmenuzar *(v. figura 25.7b,c)*.
8. Los primeros en desarrollarse son los dientes **deciduos** *(primarios, caducos o de leche),* que forman la **dentición primaria.** Estos son reemplazados por los de la **dentición secundaria,** o **dientes permanentes.** La secuencia de su erupción aparece en la *figura 25.7d*.
9. Las filas de dientes forman las **arcadas dentales,** con superficies **labial, palatina** (dientes superiores), **lingual** (dientes interiores), **mesial** y **distal** *(v. figura 25.7c)*.
10. La **masticación** hace pasar el alimento a través de las superficies de los dientes hasta formar un **bolo** fácil de tragar.

Faringe 666

1. Los músculos estriados implicados en la deglución incluyen los *constrictores faríngeos* y los *palatofaríngeos*, *estilofaríngeos* y *palatinos*.

Proceso de deglución 666

2. La **deglución** presenta tres fases. La **fase bucal** se inicia con la compactación del **bolo** y su desplazamiento a la faringe. **La fase faríngea** implica elevación de la laringe, reflejo de la epiglotis y cierre de la glotis Por último, la **fase esofágica** supone la abertura del **esfínter esofágico superior** y el impulso peristáltico del bolo hacia el **esfínter esofágico inferior** *(v. figura 25.8)*.

Esófago 667

1. El **esófago** es un tubo muscular hueco que transporta el alimento y el líquido al estómago a través del **hiato esofágico,** una abertura en el diafragma.

Histología de la pared esofágica 667

2. La pared del esófago está formada por capas: *mucosa*, *submucosa*, *muscular* y *adventicia (v. figuras 25.1/25.2/25.9)*.

Estómago 668

1. El **estómago** tiene tres funciones principales: 1) *almacenamiento del material ingerido*; 2) *descomposición mecánica de la materia resistente*, y 3) *digestión química* por rotura de enlaces mediante ácidos y enzimas.

Anatomía del estómago 668

2. El estómago se divide en cuatro partes: **cardias**, **fondo**, **cuerpo** y **píloro**. El **esfínter pilórico** regula la salida del estómago. La mucosa y la submucosa presentan unas ondulaciones denominadas **pliegues.** La capa muscular consta de tres bandas de músculo liso, una *capa longitudinal*, una *capa circular* y una *capa oblicua,* más interna *(v. figuras 25.4/25.10 a 25.13)*.
3. Los mesenterios del estómago son el **epiplón mayor,** que cuelga de la curvatura mayor, y el **epiplón menor,** que está fijado a la curvatura menor.
4. Tres ramas del **tronco celíaco** irrigan el estómago: la *arteria gástrica izquierda*, la *arteria esplénica* y la *arteria hepática común (v. figuras 22.17/22.26/25.10a)*.

Histología del estómago 671

5. Todas las porciones del estómago se revisten por epitelios cilíndricos simples. Unas depresiones superficiales llamadas **fositas gástricas** contienen las **glándulas gástricas** del fondo y el cuerpo. Las **células parietales** secretan **factor intrínseco** y ácido clorhídrico. Las **células principales** secretan **pepsinógeno,** que se convierte en pepsina por acción de los ácidos en la luz gástrica. Las **células G** secretan la hormona **gastrina** *(v. figura 25.13)*.

Regulación del estómago 673

6. La producción y secreción de **jugos gástricos** están controladas directamente por el SNC (mediante el nervio vago [inervación parasimpática] y el plexo celíaco [inervación simpática]). La liberación de las hormonas locales **secretina** y **colecistocinina** inhibe la secreción gástrica, pero estimula la pancreática y la hepática.

Intestino delgado 673

Regiones del intestino delgado 674

1. El intestino delgado incluye el **duodeno,** el **yeyuno** y el **íleon.**

Soporte del intestino delgado 674

2. La *arteria* y la *vena mesentéricas superiores* irrigan con numerosas ramas los distintos segmentos del intestino delgado *(v. figuras 22.17/22/26)*.
3. El **mesenterio propio,** o simplemente **mesenterio,** sostiene las ramas de la arteria y la vena mesentéricas superiores, los vasos linfáticos y los nervios del yeyuno y el íleon *(v. figura 25.4)*.

Histología del intestino delgado 674

4. La mucosa intestinal presenta pliegues transversos, denominados **pliegues circulares.** La mucosa del intestino delgado forma pequeñas proyecciones, las

vellosidades intestinales, que aumentan la superficie de absorción. Cada vellosidad contiene un terminal linfático llamado **lácteo.** Saculaciones denominadas **glándulas intestinales** (o *de Lieberkühn*) albergan células madre, enteroendocrinas y caliciformes *(v. figuras 25.4/25.10/25.12/25.14 a 25.16)*.

5. Las regiones del intestino delgado presentan especializaciones histológicas que determinan sus funciones principales. El duodeno contiene: 1) **glándulas submucosas** *(de Brunner)* que ayudan a las glándulas intestinales a producir moco, y 2) recibe las secreciones de los conductos colédoco y pancreático. El yeyuno y el íleon contienen grandes grupos de **nódulos linfáticos agregados** *(placas de Peyer)* en la lámina propia *(v. figuras 25.15/25.16)*.

Regulación del intestino delgado 677

6. El **jugo intestinal** humedece el quimo, ayuda a tamponar ácidos y disuelve las enzimas digestivas y los productos de la digestión.
7. La *secretina* y la *colecistocinina (CCC)* son dos hormonas importantes para la coordinación de las actividades digestivas. La inervación parasimpática (vagal) estimula la función digestiva; la estimulación simpática inhibe la actividad en el tubo digestivo.

Intestino grueso 677

1. El **intestino grueso** se inicia en una bolsa situada por debajo de la porción inferior del íleon y termina en el ano. Sus principales funciones son: 1) *reabsorber el agua y compactar las heces;* 2) *absorber vitaminas por acción de bacterias*, y 3) *almacenar la material* fecal antes de la defecación *(v. figuras 25.4/25.12/ 25.14/ 25.17 a 25.19)*
2. Se divide en tres partes: **ciego, colon** y **recto.**

Ciego 677

3. El **ciego** recibe y almacena la materia procedente del íleon. Este se abre al ciego en la **papila ileal,** con músculos que rodean su abertura formando la **válvula ileocecal.** El **apéndice** está fijado al ciego y funciona como parte del sistema linfático *(v. figura 25.17)*.

Colon 677

4. El **colon** presenta mayor diámetro y una pared más fina que el intestino delgado. Contiene **haustras** (saculaciones), las **tenias del colon** (bandas musculares longitudinales) y **apéndices epiploicos**, o *apéndices grasos del colon* (agregados de grasa en la serosa) *(v. figuras 25.17/25.18)*.
5. Se subdivide en cuatro regiones: **ascendente, transverso, descendente** y **sigmoide** *(v. figuras 25.4/25.17/25.18)*.

Recto 679

6. El recto termina en el **conducto anal** que da paso al ano. Los **esfínteres interno** y **externo** controlan el paso de materia fecal al ano. La distensión de la pared rectal induce el *reflejo de defecación (v. figuras 25.12/25.17/25.18)*.

Histología del intestino grueso 679

7. Las principales características histológicas del colon son carencia de vellosidades, y abundancia de células caliciformes y de glándulas intestinales, secretoras de moco *(v. figura 25.19)*.

Regulación del intestino grueso 679

8. Los movimientos del ciego al colon transverso se producen lentamente por medio del peristaltismo y la *mezcla haustral*. Los del colon transverso al sigmoide se producen varias veces al día en forma de **movimientos de masa**.
9. La distensión de la pared rectal por un movimiento de masa puede inducir deseo consciente de relajar los esfínteres interno y externo del ano para defecar.

Órganos digestivos glandulares accesorios 680

Hígado 680

1. El **hígado** se encarga de la regulación metabólica y hematológica y produce **bilis.** Su función metabólica es controlar las concentraciones sanguíneas de residuos y nutrientes, mientras que la hematológica es la de actuar como reservorio de sangre *(v. figuras 25.12/25.20/25.21 y tabla 25.1)*.
2. La descripción topográfica clásica del hígado diferencia cuatro lóbulos: **izquierdo, derecho, cuadrado** y **caudado.** La vesícula biliar se sitúa en una fosa en la **superficie posterior** del lóbulo derecho. Recientemente se ha adoptado una nueva terminología para la estructura lobular, basada en subdivisiones de la arteria hepática, la vena porta y los conductos hepáticos *(v. figura 25.20 a,b,c,d,f)*.
3. La **arteria hepática propia** y la **vena porta hepática** aportan la irrigación sanguínea del hígado. Las **venas hepáticas** drenan sangre del hígado y la devuelven a la circulación sistémica a través de la vena cava inferior *(v. figuras 22.17/ 22.26/25.20d)*.
4. Las células hepáticas, los **hepatocitos,** son células epiteliales especializadas. Las **células de Kupffer,** o *células reticulondoteliales estrelladas,* son fagocitos localizados en el revestimiento sinusoidal. El **lobulillo hepático** es la unidad funcional básica del órgano. En sección transversal, cada lobulillo es hexagonal y contiene seis **espacios porta,** o *tríadas hepáticas*. Un espacio porta incluye una rama de la arteria porta hepática, una de la arteria hepática propia y una del conducto biliar hepático. Los **canalículos biliares** conducen la bilis a los **conductillos biliares,** que llevan a las áreas porta. Los conductos biliares de cada lobulillo se unen para formar los **conductos hepáticos izquierdo** y **derecho,** que se funden en el **conducto hepático común** *(v. figuras 25.20 a 25.22)*.

Vesícula biliar 683

5. La **vesícula biliar** es un órgano muscular hueco que almacena y concentra bilis antes de su excreción al intestino delgado. Las **sales biliares** dan lugar a la formación de grandes gotas de lípidos y las hacen accesibles a las enzimas digestivas. La eyección de bilis se produce por estimulación de colecistocinina (CCC).
6. La vesícula se divide en **fondo, cuerpo** y **cuello.** El **conducto cístico** sale de la vesícula para, tras unirse al conducto hepático común, formar el **conducto colédoco** *(v. figuras 25.16/25.20d/25.22)*.

Páncreas 684

7. El **páncreas** se divide en **cabeza, cuerpo** y **cola.** El **conducto pancreático** penetra en la pared del duodeno. Dentro de cada lobulillo, los conductos se ramifican repetidamente para terminar en los **ácinos pancreáticos** (saculaciones ciegas). El **conducto pancreático accesorio** (si está presente) y el conducto pancreático atraviesan la pared del duodeno para descargar jugo pancreático a nivel de las *papilas duodenales menor* y *mayor,* respectivamente *(v. figuras 25.22/25.23)*.
8. El tejido pancreático tiene un componente exocrino y otro endocrino. La mayor parte del órgano es funcionalmente exocrino, ya que los **ácinos pancreáticos** secretan agua, iones y enzimas digestivas al intestino delgado. Entre las enzimas pancreáticas se cuentan las **lipasas,** las **carbohidrasas,** las **nucleasas** y las **enzimas proteolíticas.** Las principales hormonas de la porción endocrina son insulina y glucagón.
9. La regulación de la producción de jugo pancreático se produce sobre todo por acción de las hormonas colecistocinina y secretina.

Envejecimiento y aparato digestivo 687

1. La digestión y la absorción son normales en ancianos. No obstante, los cambios en el aparato digestivo reflejan alteraciones de otros sistemas corporales. Entre ellos se cuentan reducción de la velocidad de la división de las células madre, disminución del tono muscular, aparición de daño acumulativo, aumento de la incidencia de cáncer y numerosas modificaciones en otros sistemas.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. segmentación	a. lámina de mesenterio que sostiene el intestino delgado
___ 2. mesenterio	b. impulsa las materia ingerida por el tubo digestivo
___ 3. cúspides	c. mezcla y fragmenta el material digestivo
___ 4. serosa	d. caninos
___ 5. almohadillas grasas	e. digestión mecánico-química del alimento
___ 6. masticación	f. membrana serosa que cubre la muscular propia
___ 7. bicúspides	g. trituración
___ 8. tubo digestivo	h. premolares
___ 9. mesocolon	i. mesenterio asociado al intestino grueso
___10. peristaltismo	j. forman las mejillas

11. Las acciones implicadas en el procesado mecánico del alimento incluyen todas las siguientes, excepto ¿cuál de las siguientes?
    (a) absorción
    (b) aplastar el alimento con la lengua
    (c) desgarrar o triturar los alimentos con los dientes
    (d) mezclar o revolver los alimentos en el estómago

12. La digestión se refiere a:
    (a) la deshidratación progresiva de los residuos no digeribles
    (b) la entrada de alimento en el tubo digestivo
    (c) la descomposición química del alimento
    (d) la absorción de nutrientes en el intestino

13. La mayoría del tubo digestivo está revestido por:
    (a) epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado
    (b) epitelio cúbico
    (c) epitelio escamoso estratificado
    (d) epitelio cilíndrico simple

14. El término _____ hace referencia a dobles láminas de membrana peritoneal que mantienen los órganos viscerales en posición adecuada:
    (a) serosa
    (b) adventicia
    (c) mesenterios
    (d) fibrosa

15. Las actividades del aparato digestivo son reguladas por:
    (a) hormonas
    (b) neuronas parasimpáticas
    (c) neuronas simpáticas
    (d) todas las anteriores

16. En la muscular propia, entre las capas de músculo circular y longitudinal hay:
    (a) mucosa
    (b) submucosa
    (c) muscular de la mucosa
    (d) plexo mientérico

17. El mesenterio que sostiene gran parte del intestino delgado es:
    (a) el mesenterio propio o simplemente mesenterio
    (b) el mesocolon transverso
    (c) el epiplón menor
    (d) el epiplón mayor

18. En el paso de la cavidad oral a la faringe está(n):
    (a) la úvula
    (b) las fauces
    (c) el arco palatogloso
    (d) el arco palatofaríngeo

19. Los pliegues y las vellosidades intestinales:
    (a) Aumentan la superficie de la mucosa del intestino delgado
    (b) conducen los productos de la digestión que no entran en los capilares
    (c) producen nuevas células para la mucosa del intestino delgado
    (d) secretan enzimas digestivas

20. El mesenterio ventral:
    (a) es el principal punto de fijación de los órganos digestivos en la cavidad peritoneal del adulto
    (b) es muy glandular, pero no vascular
    (c) contiene y forma una vía para la vena porta y sus tributarias
    (d) ninguna de las respuestas anteriores

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Cuál de las siguientes opciones no es válida para todo el intestino delgado?
    (a) es la principal localización de la digestión y absorción de en torno al 80% de los nutrientes
    (b) tiene una longitud media de 6 metros
    (c) es retroperitoneal
    (d) presenta una serie de ondulaciones transversales llamados pliegues circulares

2. En ancianos, la función digestiva:
    (a) cambia en paralelo a los alteraciones relacionadas en los demás sistemas corporales
    (b) es independiente de los cambios en otros sistemas
    (c) puede determinarse mediante pruebas de función hepática
    (d) mejora en eficacia, pero no en velocidad

3. ¿De qué modo influye el daño o extirpación de un mesenterio en la función normal del intestino delgado?
    (a) incrementa el peristaltismo
    (b) aumenta la secreción hormonal
    (c) se ven interferidas la irrigación y la inervación
    (d) los intestinos pierden algo de motilidad

4. ¿Cuál es la función de la lipasa del páncreas?

5. ¿Cuál es la función del esfínter hepatopancreático?

6. ¿Qué hace la vesícula biliar con la bilis?

7. ¿Cuál es la función de las células de Kupffer?

8. ¿Cuál es el último segmento del colon antes de pasar al recto?

9. ¿Cuál es la función de los quilíferos en el intestino delgado?

10. ¿Qué produce la liberación de gastrina?

Nivel 3 Pensamiento crítico

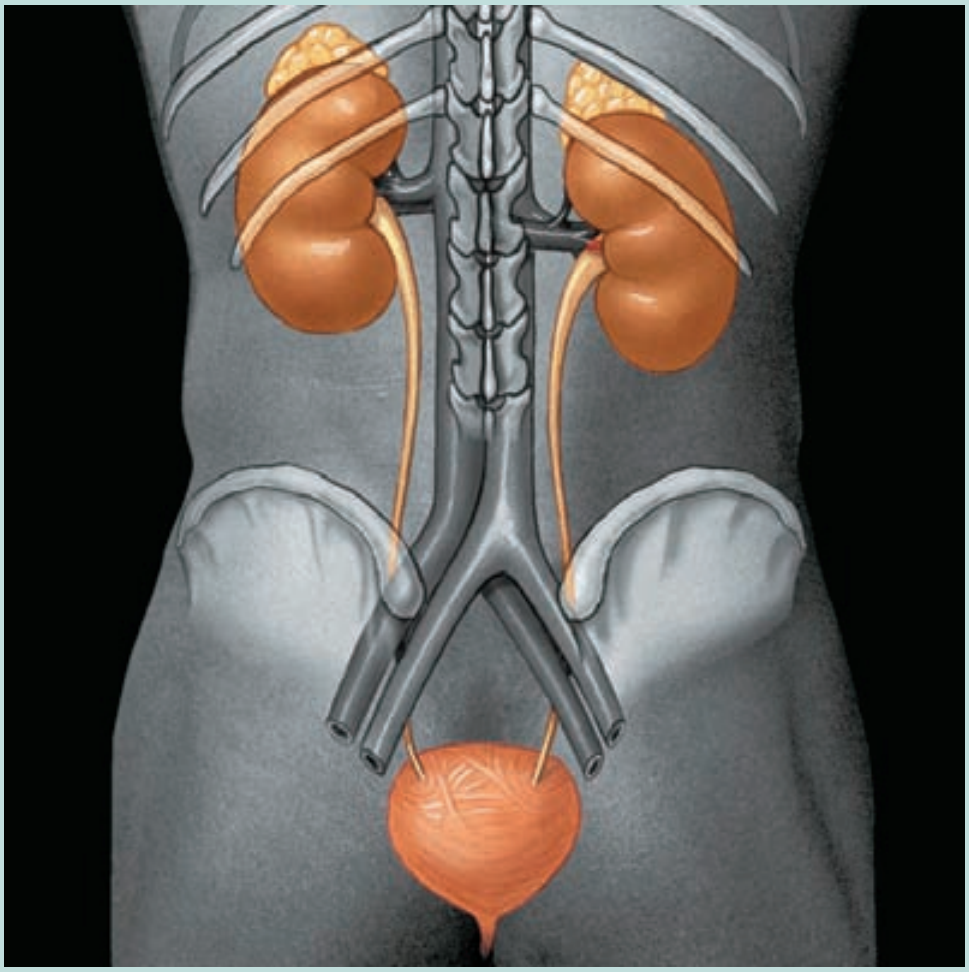
1. Un sospechoso de asesinato declara que cenó con la víctima 4 horas antes de que esta muriera. El forense encargado de la autopsia afirma que el sospechoso miente y que la víctima no comió nada en las 10 últimas horas de su vida ¿Cómo puede determinarlo?

2. Desde la cavidad oral al ano, ¿qué seis esfínteres controlan el movimiento del alimento en el tubo digestivo? ¿Sobre cuáles se tiene control consciente y por qué?

3. Desde la luz hacia fuera, ¿qué seis capas de tejido forman la pared del tubo digestivo?

26

Aparato urinario



Introducción 694

Riñones 694

Estructuras para el transporte, el almacenamiento y la eliminación de la orina 704

Envejecimiento y aparato urinario 708

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las funciones del aparato urinario y sus relaciones con otros órganos excretores.
2. Identificar los componentes del aparato urinario y sus funciones.
3. Describir la localización de los riñones, sus rasgos externos y sus relaciones con los tejidos y órganos adyacentes.
4. Identificar la estructura y función de cada característica anatómica macroscópica de los riñones.
5. Identificar los vasos sanguíneos que irrigan las nefronas.
6. Describir las singulares características y propiedades de los capilares glomerulares.
7. Describir el flujo sanguíneo a través de la nefrona y alrededor de la misma.
8. Identificar la inervación de los riñones y los efectos de la misma en la función renal.
9. Describir la organización histológica de la nefrona y las funciones de cada uno de sus segmentos.
10. Describir la localización, la anatomía macroscópica y la histología de los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra.
11. Identificar las funciones de los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra.
12. Analizar el reflejo de micción y su control.
13. Describir los efectos del envejecimiento sobre el aparato urinario.

Las actividades coordinadas de los aparatos digestivo, cardiovascular, respiratorio y urinario previenen el desarrollo de problemas de «contaminación» en el organismo. El tubo digestivo absorbe nutrientes de los alimentos y el hígado adecúa la concentración de dichos nutrientes en la sangre circulante. El aparato cardiovascular conduce los nutrientes, junto con el oxígeno del sistema respiratorio, a los tejidos periféricos. Cuando la sangre abandona esos tejidos contiene el dióxido de carbono y otros productos residuales generados por las células activas, llevándolos a sus puntos de excreción. El dióxido de carbono es eliminado por los pulmones. La mayoría de los residuos orgánicos, con el exceso de agua y electrólitos, son eliminados y excretados por el aparato urinario, en el que se centra el presente capítulo. También otros sistemas colaboran con los riñones en la excreción de agua y solutos. Por ejemplo, el sudor generado en las glándulas sudoríparas contiene agua y solutos y diversos órganos digestivos secretan productos residuales a la luz del tubo digestivo. No obstante, esta aportación es menor en comparación con la de los riñones.

El **aparato urinario** desempeña funciones excretoras esenciales y elimina residuos orgánicos generados por las células en todo el cuerpo. También ejerce otras funciones, que a veces no son tenidas en cuenta. Una lista de dichas funciones es la siguiente:

1. *Regulación de las concentraciones plasmáticas de sodio, potasio, cloruro, calcio y otros iones* mediante control de las cantidades perdidas en la orina.
2. *Regulación del volumen y la presión sanguíneos* mediante: a) ajuste del volumen de agua perdido en orina; b) liberación de eritropoyetina, y c) liberación de renina [p. 518].
3. *Contribución a la estabilización del pH* sanguíneo.
4. *Conservación de nutrientes útiles* previniendo su excreción urinaria.
5. *Eliminación de residuos orgánicos,* en especial nitrogenados como *urea* y *ácido úrico,* sustancias tóxicas y fármacos.
6. *Síntesis de calcitriol,* hormona derivada de la vitamina D_3 que estimula la absorción de calcio en el epitelio intestinal; y
7. *Ayuda al hígado* en la eliminación de tóxicos y, durante los períodos de ayuno, en la desaminación de aminoácidos, para que puedan ser decompuestos por otros tejidos.

Todas las actividades del aparato urinario están minuciosamente reguladas para mantener la composición y la concentración sanguínea de los solutos dentro de límites aceptables. Las alteraciones de cualquiera de estas funciones tienen de inmediato consecuencias potencialmente fatales.

Este capítulo trata la organización funcional del aparato urinario y describe los principales sistemas de regulación de la producción y concentración de orina. El aparato urinario (v. figura 26.1a) incluye *riñones, uréteres, vejiga urinaria,* y *uretra.* Las funciones excretoras del sistema las desarrollan los dos **riñones.** Estos órganos producen **orina,** producto líquido residual que contiene agua, iones y pequeños compuestos solubles. La orina sale de los riñones por el **tracto urinario,** integrado por un par de **uréteres** y la **vejiga urinaria,** donde la orina se almacena temporalmente. Cuando se produce la **micción,** la contracción de la vejiga urinaria muscular fuerza el paso de la orina a través de la **uretra** hacia fuera del cuerpo.

Riñones [v. figuras 26.1/26.2]

Los riñones se localizan a los lados de la columna vertebral, entre la última vértebra torácica y la tercera lumbar (v. figura 26.2a). La superficie superior del riñón derecho está a menudo por debajo de la del izquierdo (v. figuras 26.1 y 26.2a).

En disección macroscópica, la superficie anterior del riñón derecho está cubierta por el hígado, el ángulo hepático del colon y el duodeno. La superficie anterior del riñón izquierdo queda cubierta por el bazo, estómago, páncreas, yeyuno y ángulo esplénico del colon. La superficie superior de cada riñón está coronada por una glándula suprarrenal (v. figuras 26.1a y 26.2). Los riñones, las glándulas suprarrenales y los uréteres se sitúan entre los músculos de la pared dorsal del cuerpo y el peritoneo parietal, en posición retroperitoneal (v. figuras 26.1c y 26.2).

La posición de los riñones en la cavidad abdominal es mantenida por: 1) el peritoneo que los recubre; 2) el contacto con los órganos viscerales adyacentes, y 3) los tejidos conjuntivos de soporte. Tres capas concéntricas de tejido conjuntivo (v. figura 26.1c) protegen y estabilizan cada riñón.

1. Una capa de fibras de colágeno, la **cápsula fibrosa,** cubre la superficie externa de todo el órgano y mantiene su forma, aportando protección mecánica.
2. Una capa de tejido adiposo, la **cápsula adiposa** de *grasa perirrenal* (de *peri,* en torno a, *renes*, riñón) envuelve la cápsula fibrosa. Esta capa puede ser bastante gruesa y, a la disección, la grasa puede ocultar el perfil renal.
3. Las fibras de colágeno se extienden hacia fuera desde la cápsula fibrosa interna y a través de la grasa perirrenal, para formar una capa externa densa conocida como **fascia renal,** que fija los riñones a las estructuras adyacentes. En su parte posterior, la fascia renal está unida a la fascia profunda, que rodea los músculos de la pared del cuerpo. Una capa de *grasa pararrenal* (*para,* cerca) separa las porciones posterior y lateral de la fascia renal de la pared corporal. Por delante, la fascia renal se fija al peritoneo y a la fascia renal anterior del lado opuesto.

En efecto, elriñón es sostenido por fibras de colágeno procedentes de la fascia renal y está envuelto en una almohadilla blanda de tejido adiposo. Esta disposición evita que las sacudidas y golpes interfieran en la función renal normal. Si las fibras de sostén se tensan o la cantidad de grasa disminuye, los riñones quedan más expuestos a lesiones traumáticas.

Anatomía superficial del riñón [v. figuras 26.2/26.3]

Cada riñón, de color pardo rojizo, tiene forma de haba. Un riñón adulto normal (v. figuras 26.2 y 26.3) mide unos 10 cm de largo, 5,5 cm de ancho y 3 cm de espesor. Cada riñón pesa unos 150 g. Una prominente escotadura medial, el **hilio,** es el punto de entrada de la arteria renal y la salida de la vena renal y el uréter.

La cápsula fibrosa presenta una capa interna y otra externa. En sección transversal (v. figura 26.3a), la capa interna se repliega hacia dentro en el hilio y reviste el **seno renal,** cavidad del interior del riñón. Los vasos sanguíneos y linfáticos renales, los nervios renales y los uréteres drenan el riñón pasando a través del hilio y se ramifican en el seno renal. La gruesa capa externa de la cápsula se extiende a través del hilio y estabiliza la posición de estas estructuras.

Anatomía seccional del riñón [v. figura 26.3]

El interior de cada riñón contiene la corteza renal, la médula renal y el seno renal. La **corteza renal,** granular y de color pardo rojizo, es la capa externa del riñón. La corteza está en contacto con la cápsula (v. figura 26.3a). La **médula renal** se sitúa en un estrato más interno que la corteza y es de color más oscuro. Está constituida por 6-18 estructuras cónicas o triangulares, llamadas **pirámides renales.** La base de cada pirámide está enfrentada a la corteza, y su punta, o **papila renal,** se proyecta hacia el seno renal. Cada pirámide presenta una serie de finas acanaladuras que convergen en la papila. Las pirámides adyacentes están separadas por bandas de tejido cortical, llamadas **columnas renales,** que presentan una estructura granular diferenciada similar a la de la corteza. Un **lóbulo renal** contiene una pirámide renal, el área de corteza que la cubre y los tejidos adyacentes de las columnas renales.

La producción de orina sucede en los lóbulos renales. Unos conductos internos de cada papila descargan orina en un drenaje con forma de copa, llamado **cáliz menor.** Cuatro o cinco cálices menores se funden para formar un **cáliz mayor** y los cálices mayores se combinan a su vez, convergiendo en una

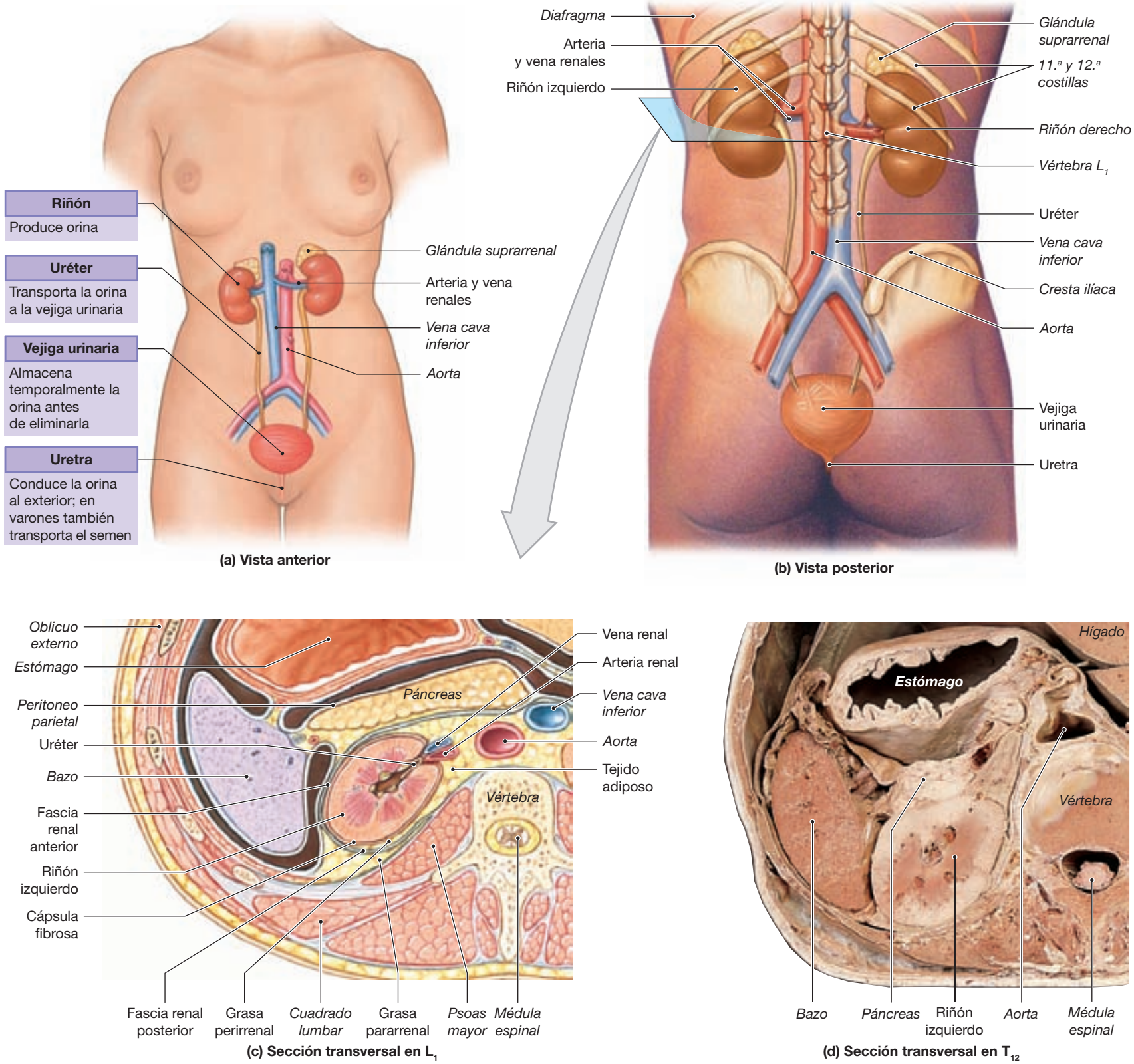
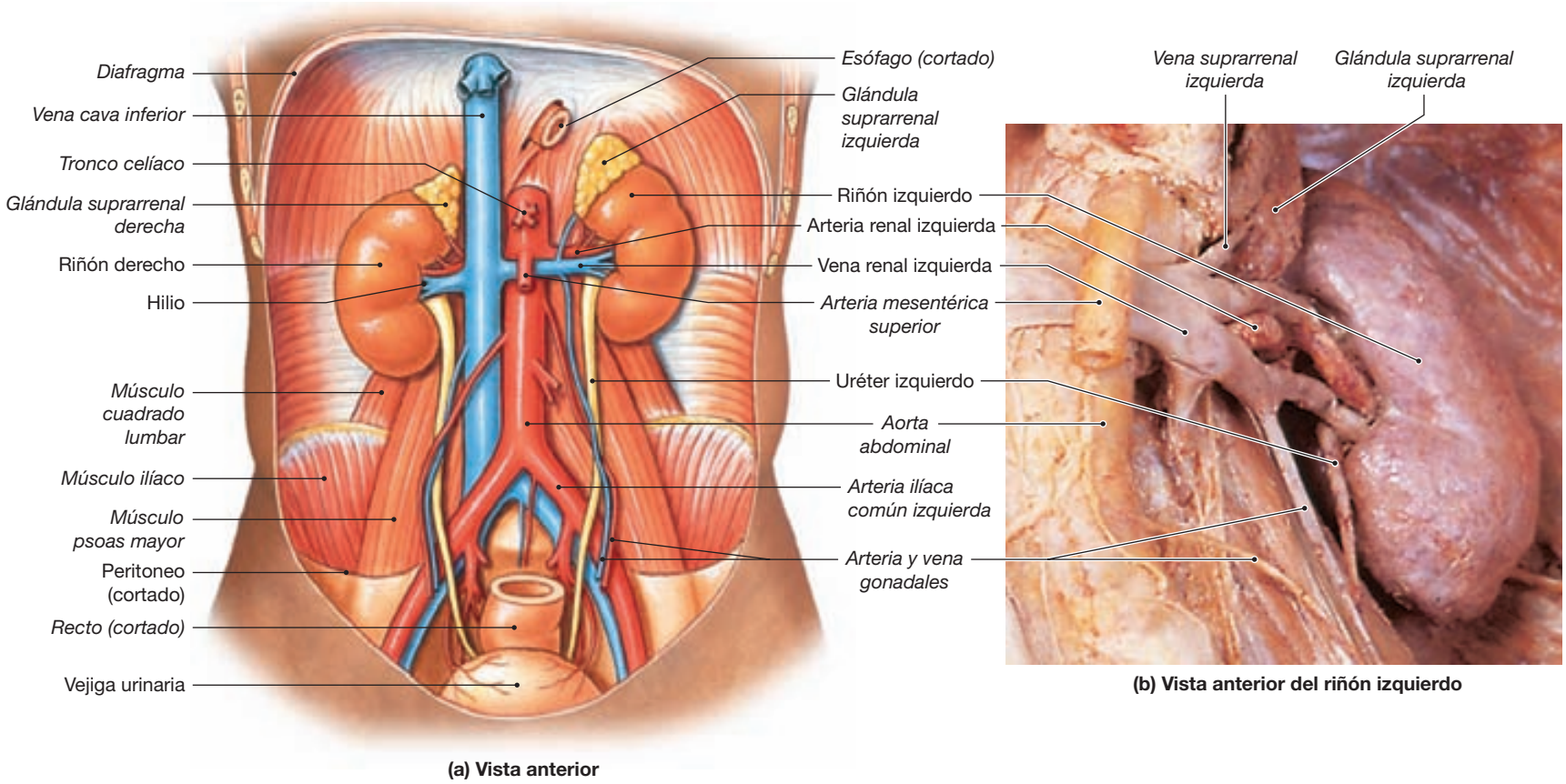


Figura 26.1 Introducción al aparato urinario

(a) Vista anterior que muestra los componentes del aparato urinario. **(b)** Vista posterior del tronco, con las posiciones de los riñones y otras estructuras del aparato urinario. **(c)** Imagen seccional esquemática al nivel indicado en la parte (b). **(d)** Vista en sección ligeramente superior al plano de la parte (c). Para consultar la anatomía superficial *véase también figura 12.3.*



(a) Vista anterior

(b) Vista anterior del riñón izquierdo

Figura 26.2 Aparato urinario en disección microscópica
(a) Imagen esquemática anterior de la cavidad abdominopélvica que muestra los riñones, las glándulas suprarrenales, los uréteres, la vejiga urinaria y la irrigación de los riñones. **(b)** Vista anterior del riñón izquierdo y sus estructuras asociadas.

cámara con forma de embudo, la **pelvis renal.** Esta, que ocupa la mayor parte del seno renal, está conectada con el uréter y el hilio del riñón.

La generación de orina se inicia en unas estructuras tubulares microscópicas llamadas **nefronas,** en la corteza de los lóbulos renales. Cada riñón contiene aproximadamente 1,25 millones de nefronas, con una longitud combinada de 145 km.

Irrigación de los riñones

[v. figuras 22.16/26.4/26.5b/26.9b]

Los riñones reciben el 20%-25% del gasto cardíaco total. En personas normales, por los riñones fluyen unos 1.200 mL de sangre por minuto. Cada riñón recibe sangre de la **arteria renal,** que se origina en la superficie lateral de la aorta abdominal, cerca del nivel de la arteria mesentérica superior [p. 588]. Al entrar en el seno renal, la arteria renal se ramifica en las **arterias segmentarias** (v. figura 26.4). Estas se dividen a su vez en una serie de **arterias interlobulares** que irradian hacia fuera, penetrando en la capsula fibrosa y extendiéndose entre las pirámides hacia la corteza, a través de las columnas renales. Las arterias interlobulares aportan sangre a las **arterias arciformes,** que discurren entre la corteza y la médula del riñón. Cada arteria arciforme genera una serie de **arterias interlobulillares,** o *radiales corticales*, que irrigan porciones del lóbulo renal adyacente. Numerosas **arteriolas aferentes** se ramifican a partir de cada arteria interlobulillar para irrigar individualmente las nefronas.

Desde las nefronas, la sangre pasa por una red de vénulas y pequeñas venas que convergen en las **venas interlobulillares.** En una imagen especular de la distribución arterial, las venas interlobulillares llevan la sangre a las **venas arciformes** que drenan en las **venas interlobulares.** Estas se fusionan para formar la **vena renal,** sin que existan venas segmentarias. Muchos de estos vasos sanguíneos son visibles en moldes de corrosión de los riñones (v. figura 26.5b) y en angiografías renales (v. figura 26.9b).

Inervación de los riñones

La producción de orina en los riñones es regulada en parte por *autorregulación,* lo que comporta cambios reflejos en el diámetro de las arteriolas de las nefronas, que alteran el flujo sanguíneo y las tasas de filtración. Mecanismos tanto hormonales como neurales pueden complementar o ajustar las respuestas locales. Los riñones y los uréteres son inervados por los **nervios renales.**

La mayor parte de las fibras nerviosas implicadas en el proceso son fibras posganglionares simpáticas procedentes del ganglio mesentérico superior [p. 456]. Un nervio renal entra en cada riñón por el hilio y sigue las ramificaciones de la arteria renal hasta llegar a cada una de las nefronas. Entre las funciones conocidas de la inervación simpática se cuentan: 1) regulación del flujo o la presión sanguínea renales; 2) estimulación de la liberación de renina, y 3) estimulación directa de la reabsorción de agua y sodio.

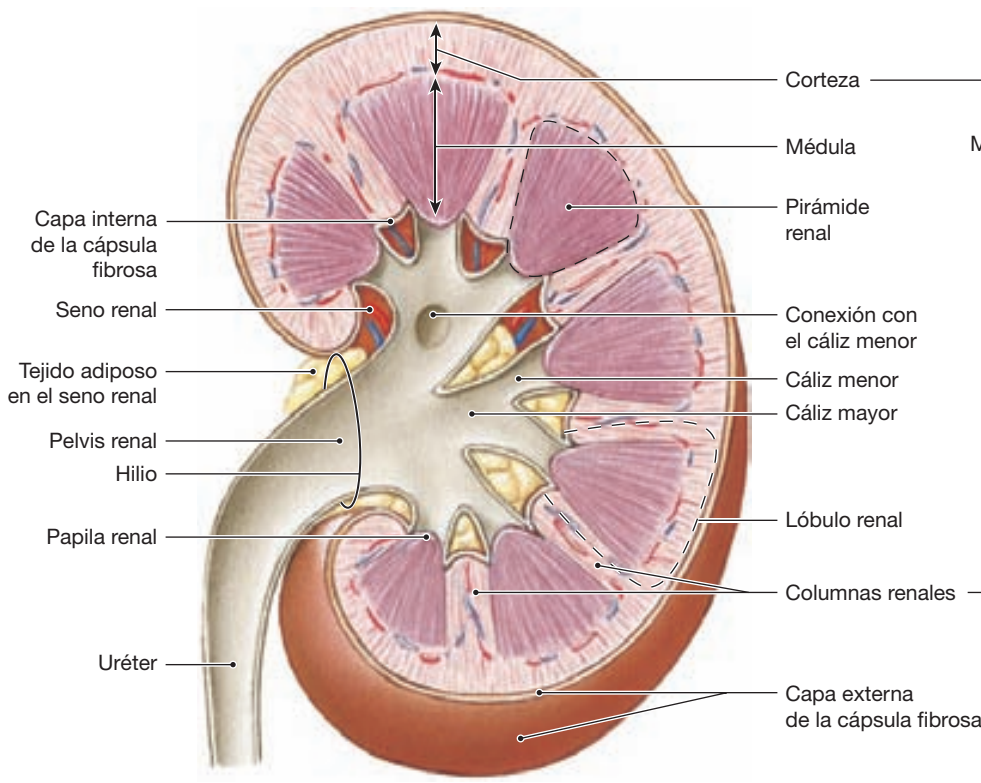
VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. En caso de que su presión arterial sea baja, ¿qué cambios observará en los riñones?
2. Tras salir de los riñones, ¿dónde va la orina?
3. ¿Qué función tiene el calcitriol?

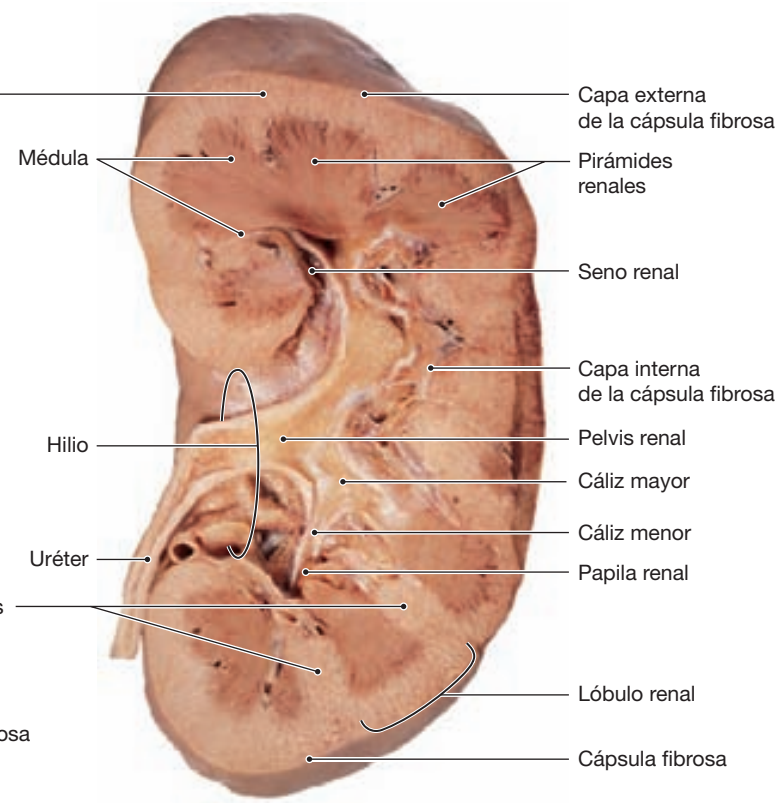
Véase «Respuestas» al final del libro.

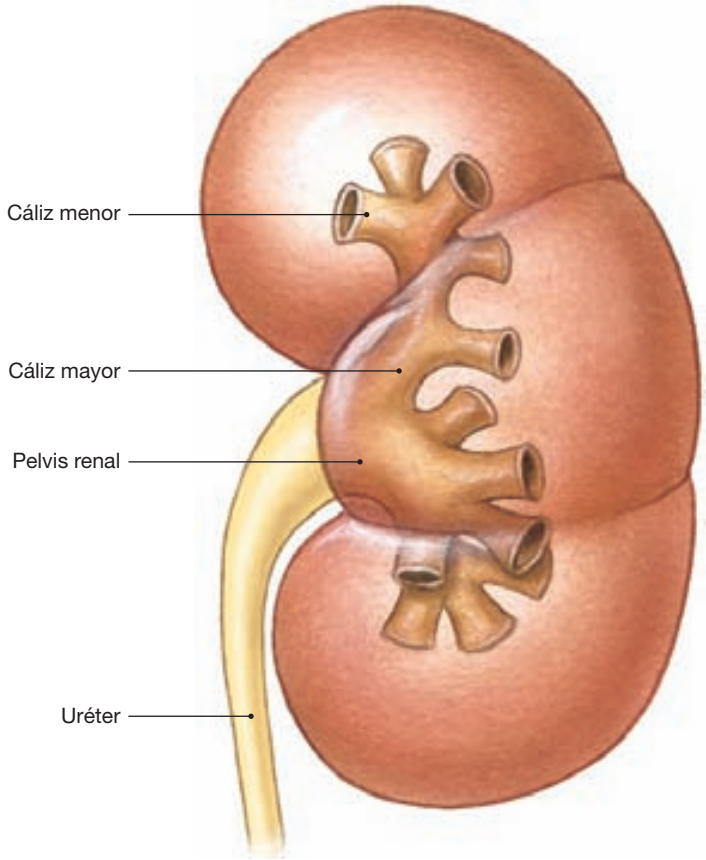
Histología del riñón [v. figura 26.6]

La *nefrona*, unidad estructural y funcional básica del riñón, sólo puede verse al microscopio. Para simplificar, la nefrona esquematizada en la figura 26.6 ha sido acortada y enderezada.

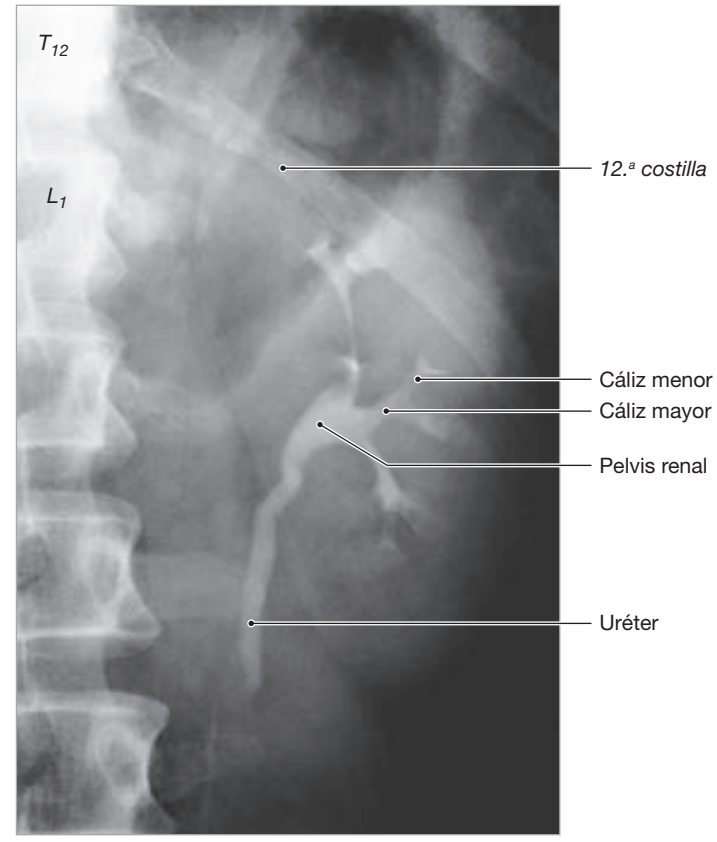


(a) Sección frontal del riñón izquierdo, vista anterior





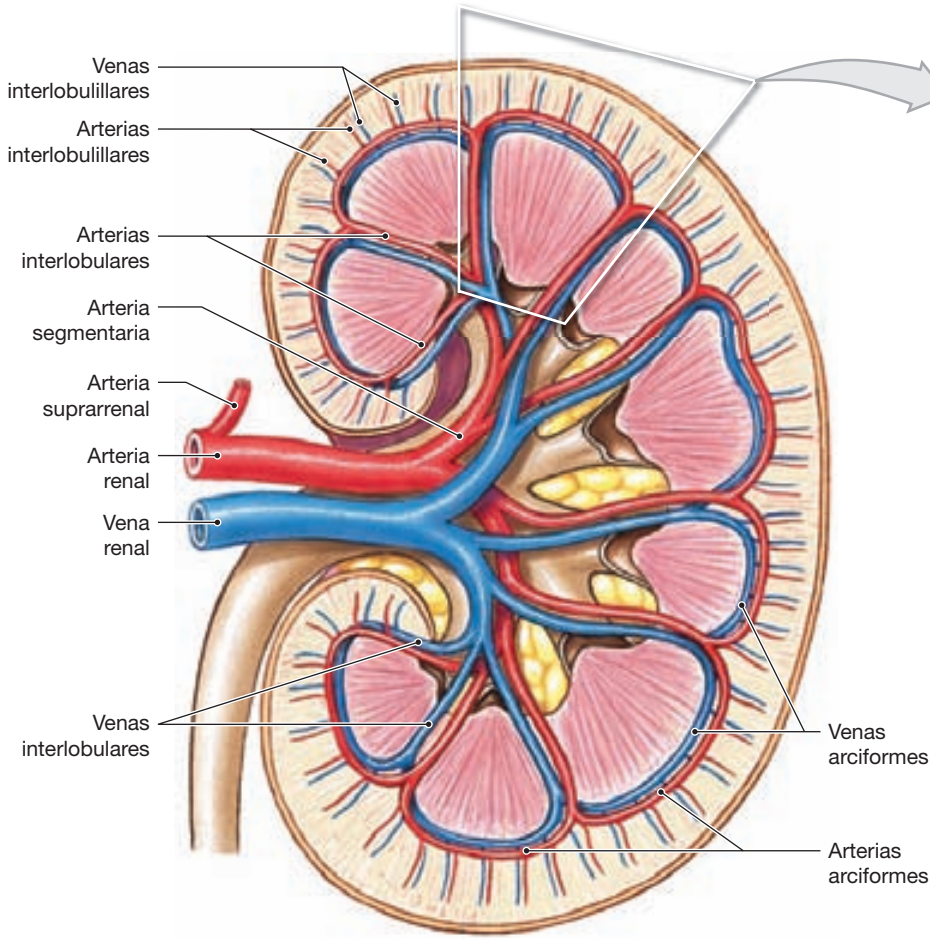
(b) Cálices y pelvis renal



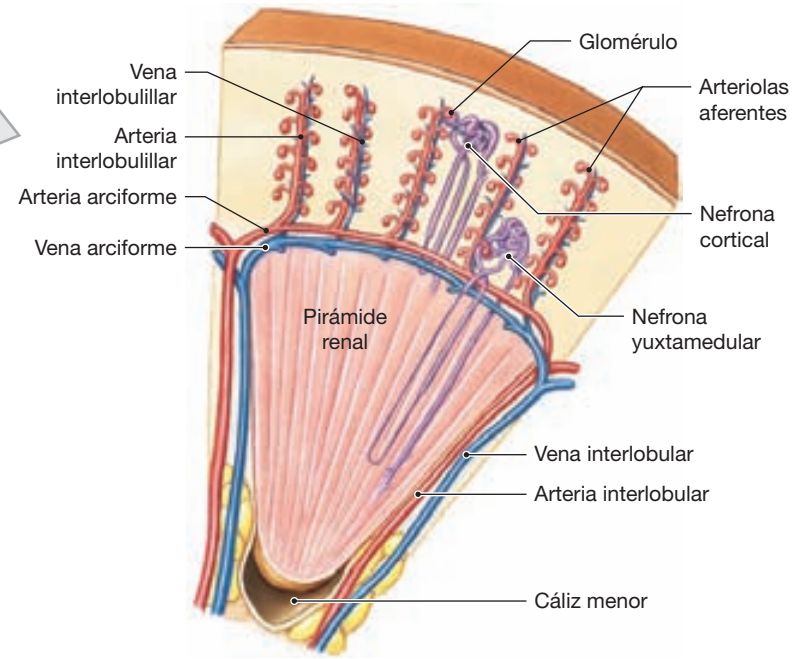
(c) Urografía

Figura 26.3 Estructura del riñón

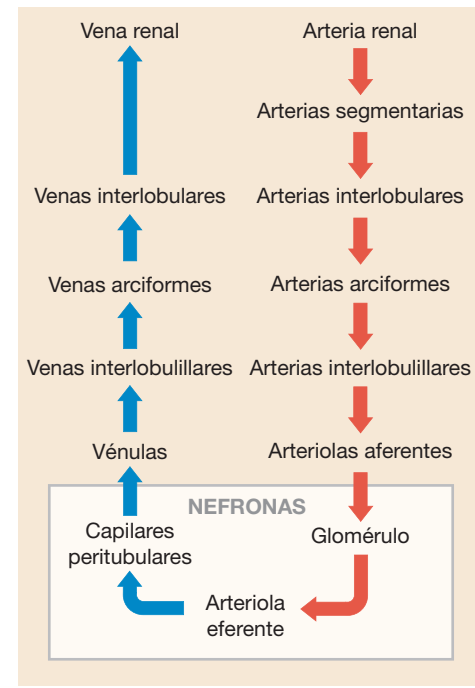
(a) Sección frontal del riñón izquierdo con sus estructuras principales. Los perfiles de un lóbulo y una pirámide renales aparecen consignados con líneas discontinuas. **(b)** Dibujo que muestra la disposición de los cálices y la pelvis renal en el riñón. **(c)** Urografía del riñón izquierdo que muestra los cálices, la pelvis renal y el uréter.



(a) Sección frontal



(b) Circulación cortical



(c) Diagrama de flujo de la circulación renal

Figura 26.4 Irrigación del riñón
(a) Vista en sección que muestra las principales arterias y venas: compárese con las *figuras 26.3* y *26.8.* **(b)** Circulación en la corteza. **(c)** Diagrama de flujo de la circulación renal, que resume el patrón de circulación renal.

Introducción a la estructura y función de la nefrona [v. figuras 26.4c/26.6/26.7]

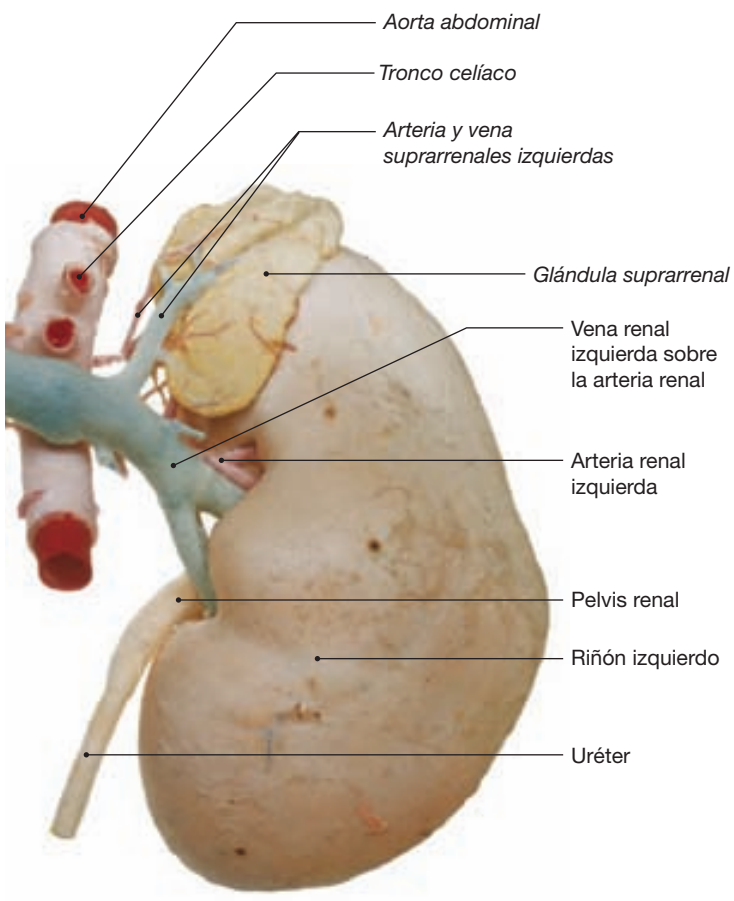
El **túbulo renal,** un largo conducto tubular, se inicia en el **corpúsculo renal,** una cámara en forma de copa. Dicho corpúsculo, de unos 200 μm de diámetro, contiene una red capilar llamada **glomérulo,** formado por unos 50 capilares entrelazados. La sangre llega al glomérulo por una **arteriola** aferente y sale por una **arteriola eferente.** Estas estructuras se muestran en la figura 26.6.

La filtración a través de las paredes del glomérulo produce una solución libre de proteínas llamada **filtrado glomerular,** o simplemente *filtrado*. Procedente del corpúsculo renal, el filtrado entra en un largo conducto tubular que se divide en regiones, con diversas características estructurales y funcionales. Entre las principales subdivisiones cabe citar: 1) el **túbulo contorneado proximal (TCP);** 2) el **asa de Henle,** o *asa de la nefrona*, y 3) el **túbulo contorneado distal (TCD).**

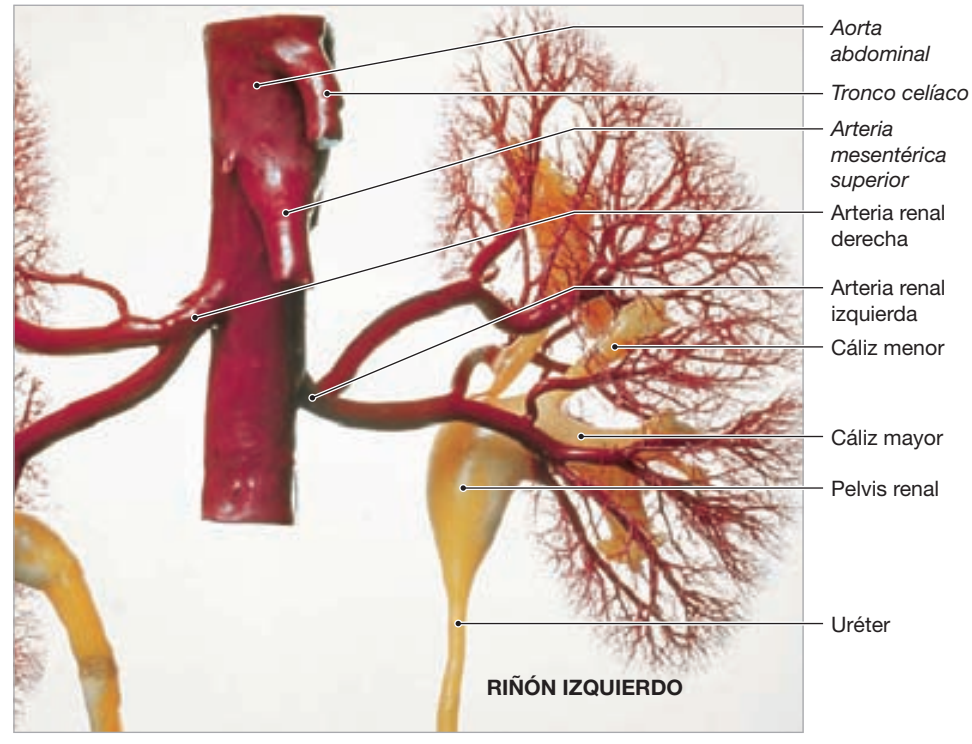
Cada nefrona evacua a un **sistema colector.** Un **túbulo conector,** unido al TCD lleva el filtrado al **conducto colector,** que abandona la corteza y desciende a la médula, llevando el líquido al **conducto papilar,** que a su vez drena a la pelvis renal.

Según sus distintas localizaciones, las nefronas presentan ligeras diferencias estructurales. A grandes rasgos, el 85% de las nefronas son **corticales,** situadas casi en su totalidad en la superficie cortical del riñón (v. figura 26.7a,e). En una nefrona cortical, el asa de Henle es relativamente corta y la arteriola aferente aporta sangre a una red de **capilares peritubulares,** que rodea el conjunto de túbulos renales. Estos capilares drenan a pequeñas venas que conducen la sangre a las venas interlobulillares (v. figura 26.4c). El 15% restante de las nefronas, llamadas **yuxtamedulares** (*yuxta*, cerca), se localizan en proximidad de la médula y presentan largas asas que penetran en profundidad en las pirámides renales (v. figura 26.7a,f). Al ser más numerosas que las yuxtamedulares, las nefronas corticales desarrollan la mayoría de las funciones de reabsorción y secreción de los riñones. Sin embargo, las yuxtamedulares crean las condiciones necesarias para la producción de orina concentrada.

La orina que llega a la pelvis renal es muy distinta del filtrado generado en el corpúsculo renal. El proceso pasivo de filtración favorece el movimiento a



(a) Riñón izquierdo y vasos relacionados, vista anterior



(b) Molde de corrosión

Figura 26.5 Vasos renales y flujo sanguíneo
(a) Riñón izquierdo, uréter y vasos asociados. En los vasos se ha inyectado látex para facilitar su visualización. **(b)** Molde de corrosión de la circulación y las vías de conducción renales.

través de una barrera basándose solamente en el tamaño de los solutos. Un filtro con poros lo suficientemente grandes como para permitir el paso de residuos orgánicos no es capaz de evitar el paso de agua, iones y otras moléculas orgánicas, como glucosa, ácidos grasos o aminoácidos. Los otros segmentos distales de la nefrona son responsables de:

- Reabsorber todos los sustratos orgánicos útiles del filtrado.
- Reabsorber más del 80% del agua del filtrado.
- Secretar al filtrado los productos residuales no procesados en la filtración.

A continuación examinaremos con detalle los segmentos de una nefrona yuxtaglomerular.

Corpúsculo renal [v. figuras 26.6/26.8c-e]

El diámetro medio del corpúsculo renal oscila entre 150 y 250 μm. El corpúsculo incluye: 1) un ovillo capilar, y 2) el segmento inicial expandido del túbulo renal, la región conocida como **cápsula glomerular,** o *cápsula de Bowman*. El glomérulo se proyecta en la cápsula glomerular del mismo modo que el corazón se proyecta en la cavidad pericárdica (**v. figura 26.8c**). La pared exterior de la cápsula está revestida por un **epitelio parietal** *(capsular)* escamoso simple, en una capa que se continúa en el **epitelio visceral** *(glomerular)* que reviste los capilares glomerulares. El epitelio visceral consta de grandes células con complejas proyecciones que envuelven los capilares del glomérulo. Estas células especializadas, llamadas **podocitos,** se ilustran en la **figura 26.8c-e**. El **espacio capsular** separa los epitelios parietal y visceral. La conexión entre ambos se sitúa en el **polo vascular** del corpúsculo renal. En el polo, los capilares glomerulares se comunican con el flujo sanguíneo. La sangre llega a estos capilares a través de la arteriola aferente y sale de ellos por la arteriola eferente, de menor diámetro (**v. figura 26.8c**) (esta singular disposición circulatoria se analizará más adelante en otro apartado).

La filtración se produce a medida que la presión arterial impulsa el líquido y los solutos disueltos fuera del glomérulo, hacia el espacio capsular. El filtrado resultante es muy similar al plasma tras eliminar las proteínas sanguíneas. El proceso de filtración implica el paso a través de tres barreras fisiológicas (**v. figura 26.8d**):

1. *El endotelio capilar:* los capilares glomerulares son *capilares fenestrados*, con poros cuyo diámetro oscila entre 60 y 10 nm (0,06-0,1 μm) [p. 575]. Estas aperturas son lo bastante pequeñas para evitar el paso de las células sanguíneas, pero demasiado grandes para restringir la difusión de solutos, incluso de aquellos que presentan las dimensiones de las proteínas plasmáticas.
2. *La lámina basal:* la lámina basal que rodea el endotelio capilar presenta una capa gruesa, de densidad y espesor varias veces superior a la de la lámina basal típica. La capa densa del glomérulo limita el paso de las proteínas plasmáticas más grandes, pero permite el de proteínas menores, nutrientes y iones. A diferencia de lo que sucede en las láminas basales de otras partes del cuerpo, la capa densa puede en este caso rodear dos o más capilares. Cuando están presentes, las **células mesangiales** se sitúan entre las células epiteliales de los capilares adyacentes. Las células mesangiales: 1) proporcionan soporte físico a los capilares; 2) engloban los materiales orgánicos que podrían obstruir la capa densa, y 3) regulan el diámetro de los capilares glomerulares, por lo que desempeñan funciones relacionadas con la regulación del flujo glomerular y la filtración.
3. El *epitelio glomerular:* los podocitos presentan apéndices celulares largos que envuelven las superficies externas de la lámina basal. Estos delicados «pies», o **prolongaciones secundarias,** están separados por estrechos

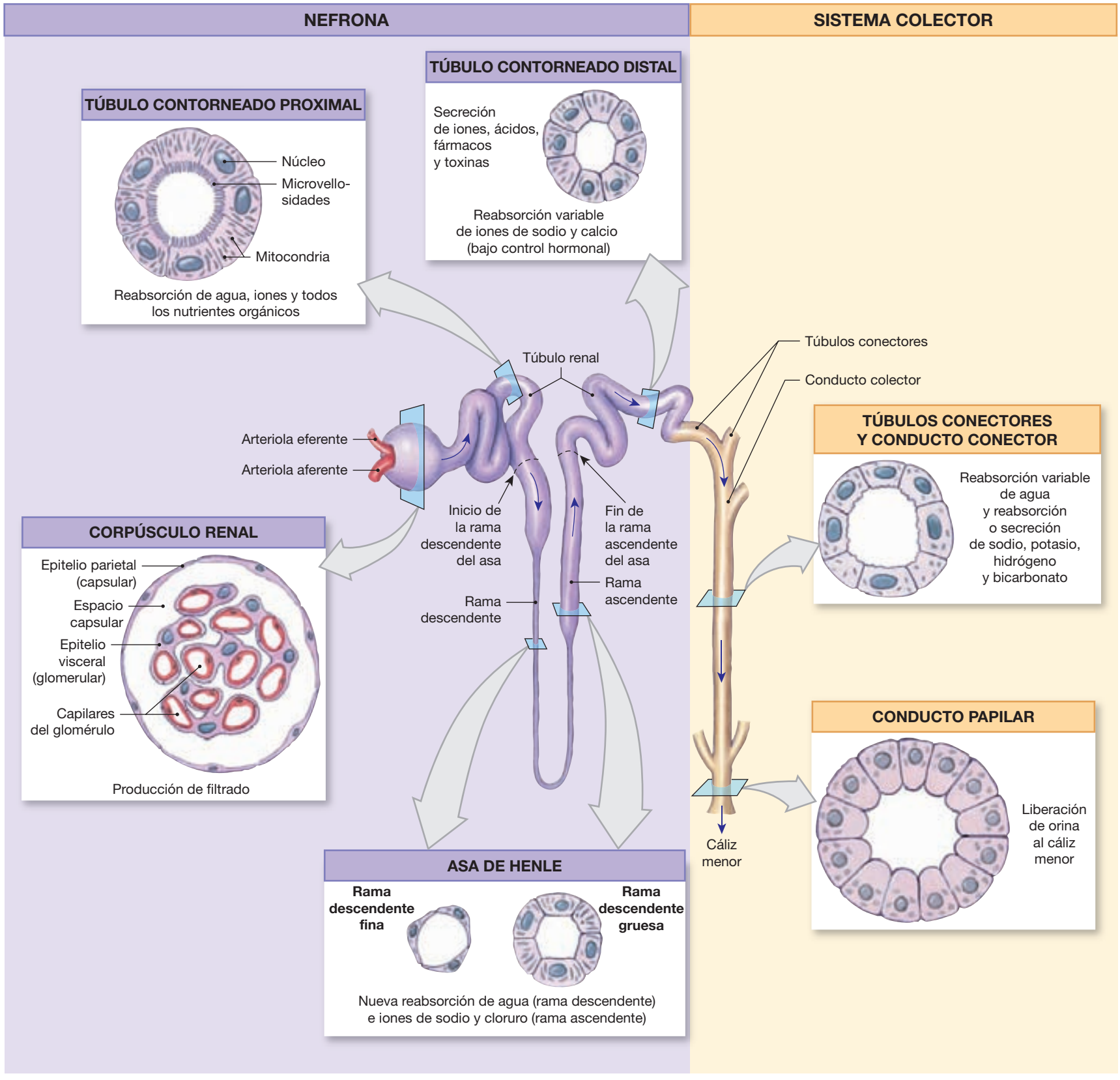

NEFRONA
SISTEMA COLECTOR
TÚBULO CONTORNEADO PROXIMAL
Núcleo
Microvello-sidades
Mitocondria
Reabsorción de agua, iones y todos los nutrientes orgánicos
TÚBULO CONTORNEADO DISTAL
Secreción de iones, ácidos, fármacos y toxinas
Reabsorción variable de iones de sodio y calcio (bajo control hormonal)
Túbulo renal
Túbulos conectores
Conducto colector
Arteriola eferente
Arteriola aferente
CORPÚSCULO RENAL
Epitelio parietal (capsular)
Espacio capsular
Epitelio visceral (glomerular)
Capilares del glomérulo
Producción de filtrado
Inicio de la rama descendente del asa
Fin de la rama ascendente del asa
Rama descendente
Rama ascendente
TÚBULOS CONECTORES Y CONDUCTO CONECTOR
Reabsorción variable de agua y reabsorción o secreción de sodio, potasio, hidrógeno y bicarbonato
CONDUCTO PAPILAR
Liberación de orina al cáliz menor
Cáliz menor
ASA DE HENLE
Rama descendente fina
Rama descendente gruesa
Nueva reabsorción de agua (rama descendente) e iones de sodio y cloruro (rama ascendente)

Figura 26.6 Nefrona normal
Imagen esquemática que muestra la estructura histológica y las principales funciones de cada segmento de la nefrona (en morado) y el sistema colector (en amarillo).

intervalos denominados **hendiduras de filtración** (v. figura 26.8d,e). Dado que estas hendiduras son muy estrechas, el filtrado que entra en el espacio capsular consiste en agua con iones disueltos, pequeñas moléculas orgánicas y proteínas plasmáticas escasas, cuando no inexistentes.

Además de los residuos metabólicos, el filtrado contiene otros compuestos orgánicos, como glucosa, ácidos grasos libres, aminoácidos y vitaminas. Estos materiales, potencialmente útiles, son reabsorbidos por el túbulo contorneado proximal.

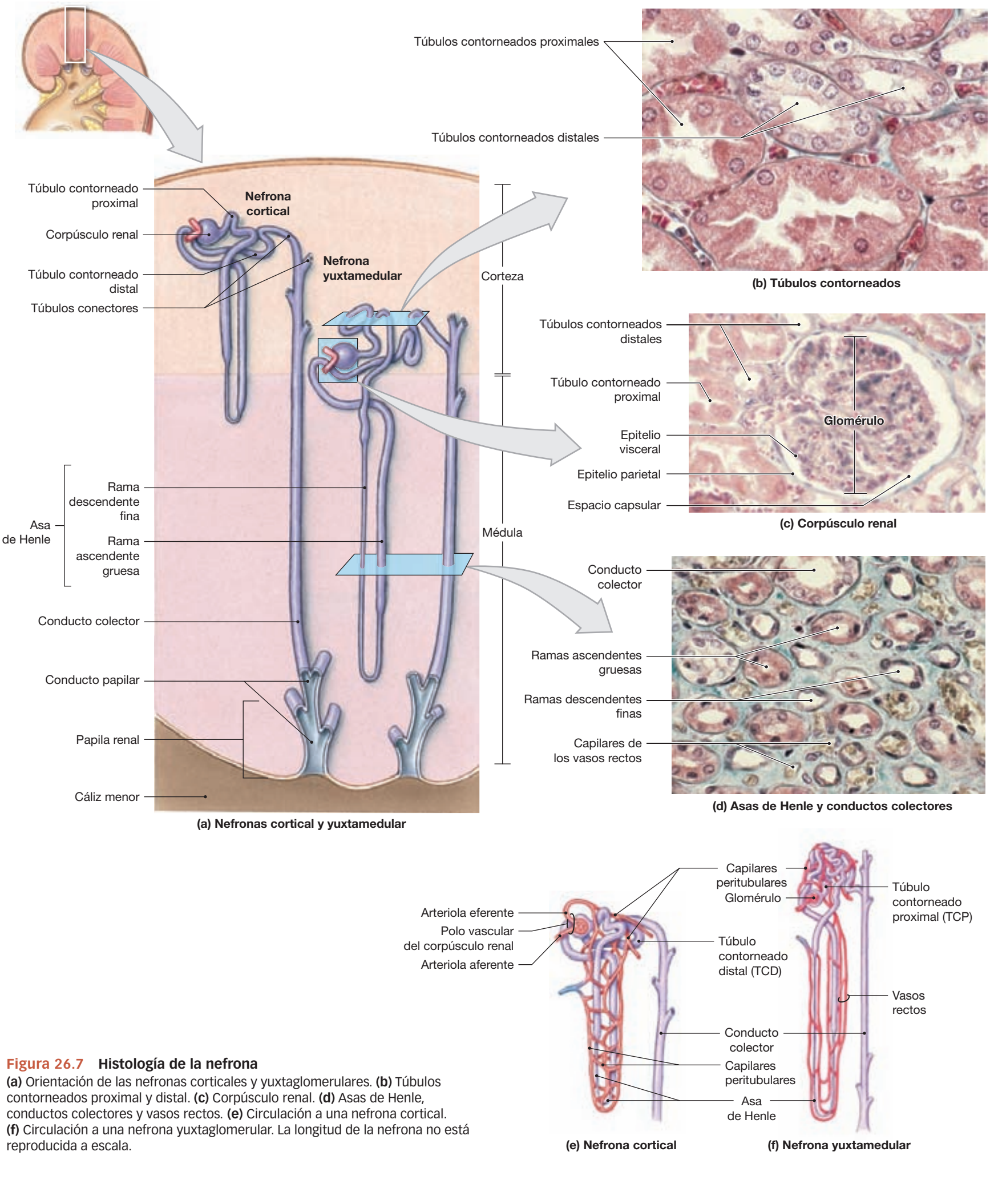
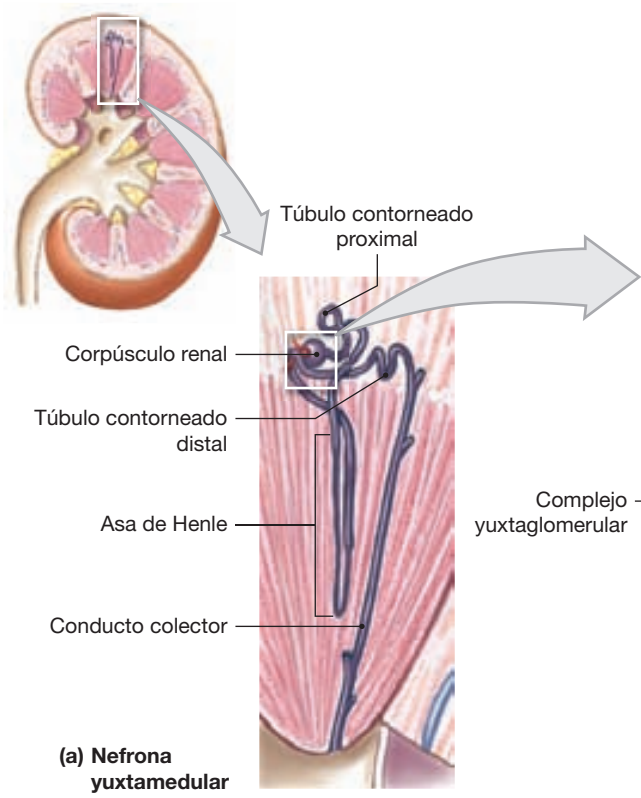
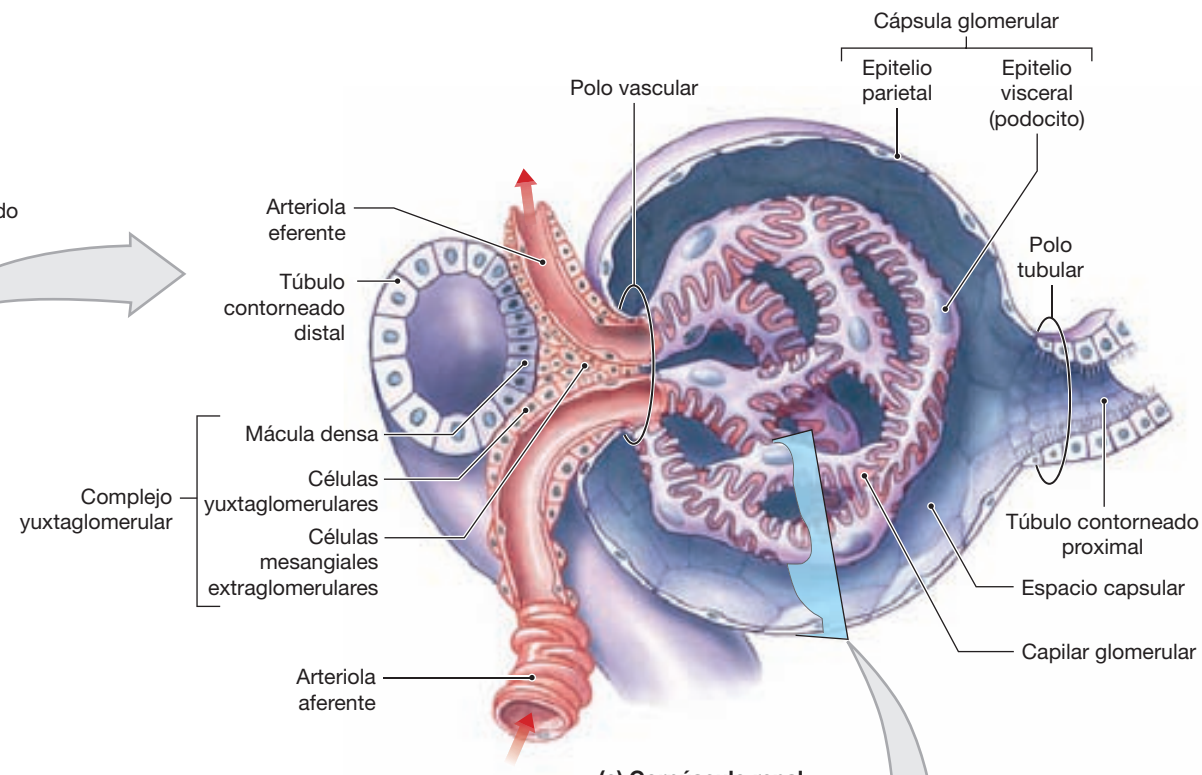


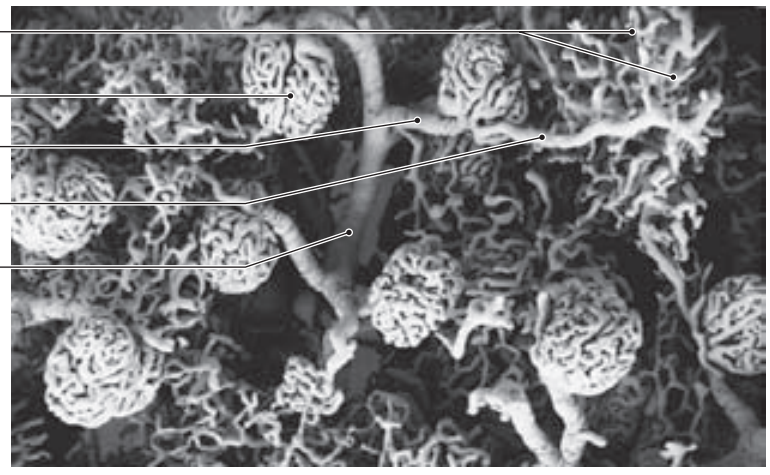
Figura 26.7 Histología de la nefrona
(a) Orientación de las nefronas corticales y yuxtaglomerulares. **(b)** Túbulos contorneados proximal y distal. **(c)** Corpúsculo renal. **(d)** Asas de Henle, conductos colectores y vasos rectos. **(e)** Circulación a una nefrona cortical. **(f)** Circulación a una nefrona yuxtaglomerular. La longitud de la nefrona no está reproducida a escala.



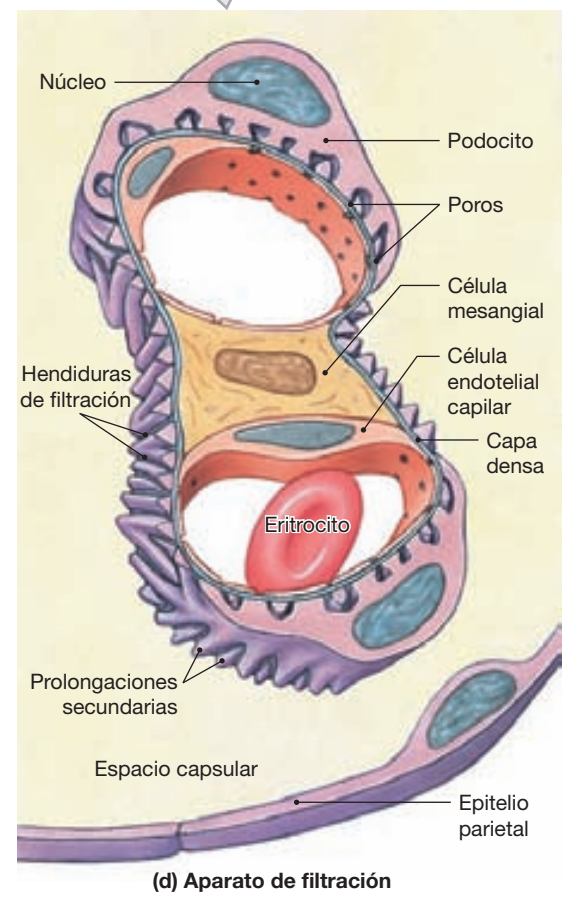
(a) Nefrona yuxtamedular



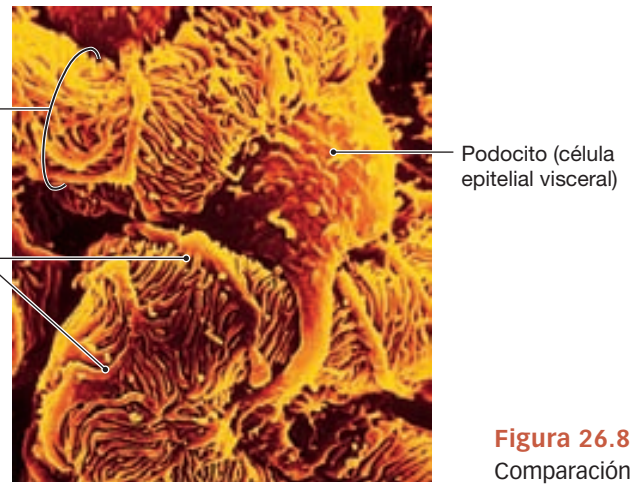
(c) Corpúsculo renal



(b) Glomérulos y sus vasos asociados MEB × 94



(d) Aparato de filtración



(e) Podocito MEB × 20.800

Figura 26.8 Corpúsculo renal

Comparación de imágenes esquemáticas y de microscopia electrónica. **(a)** Estructura y localización de una nefrona yuxtamedular. **(b)** Imagen al MEB de varios corpúsculos renales, mostrando su estructura tridimensional. [© R. G. Kessel and R. H. Kardon, "Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy," W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.] **(c)** Corpúsculo renal; la flecha señala la dirección del flujo sanguíneo. **(d)** Imagen esquemática del aparato de filtración. **(e)** Microfotografía de MEB coloreada de la superficie del glomérulo, que muestra podocitos con pedicelos y prolongaciones secundarias.

Túbulo contorneado proximal [v. figuras 26.6/26,7a,b/26.8c]

El túbulo contorneado proximal (TCP) es la primera parte del túbulo renal. La entrada en él se sitúa casi directamente en oposición al polo vascular del corpúsculo renal, en el **polo tubular** del mismo (**v. figura 26.8c**). El revestimiento del TCP corresponde a un epitelio cúbico simple cuyas superficies están recubiertas de microvellosidades, lo que aumenta la superficie de reabsorción (**v. figuras 26.6** y **26.7a,b**). Estas células absorben activamente nutrientes orgánicos, iones y proteínas plasmáticas (en caso de que estén presentes) del filtrado a medida que este fluye a través de la pared del TCP. Mientras los solutos son absorbidos, las fuerzas osmóticas impulsan el agua a través de la pared del TCP hacia el líquido intersticial circundante, denominado *líquido peritubular*. La absorción es la función principal del TCP. Cuando el líquido tubular pasa a través de él, las células epiteliales reabsorben casi todos los nutrientes y proteínas plasmáticas y el 60% de los iones de sodio u cloruro y del agua. El TCP también reabsorbe activamente iones de potasio, calcio, magnesio, bicarbonato, fosfato y sulfato.

Asa de Henle [v. figuras 26.6/27.7.a,d]

El túbulo contorneado proximal termina en una curva aguda que redirige el túbulo renal hacia la médula. Este giro marca el comienzo del asa de Henle (**v. figura 26.7a,d**). En el asa pueden diferenciarse una **rama ascendente** y una **descendente.** Esta última se dirige a la médula y la pelvis renal, mientras que la ascendente regresa en dirección a la corteza. Cada rama contiene un **segmento grueso** y un **segmento fino** (**v. figuras 26.6** y **26.7a,d**), aunque los términos *grueso* y *fino* hacen referencia al espesor del epitelio circundante, no al diámetro de la luz.

Los segmentos gruesos se encuentran más cerca de la corteza, mientras que el epitelio escamoso fino reviste el segmento fino en las porciones más profundas de la médula. La rama ascendente gruesa, que se inicia en la parte profunda de la médula, contiene mecanismos de transporte activo que extraen iones sodio y cloruro del líquido tubular. Como resultado de estas actividades de transporte, el líquido intersticial medular contiene una concentración inusualmente alta de solutos. Esta concentración suele expresarse en términos de miliosmoles (mOsmL). Cerca de la base del asa, en la parte más profunda de la médula, la concentración de solutos del líquido intersticial es unas cuatro veces la del plasma (1.200 mOsmL frente a 300 mOsmL). Las ramas finas ascendente y descendente son plenamente permeables al agua, pero algo impermeables a los iones y a otros solutos. La elevada concentración osmótica que rodea el asa de Henle determina un flujo osmótico de agua hacia el exterior de la nefrona. El agua es absorbida por los finos capilares de los **vasos rectos,** que reconducen el líquido a la circulación general.

El efecto neto de ello es que el asa de Henle reabsorbe un 25% adicional del agua del líquido tubular y un porcentaje incluso superior de sodio y cloruro. La reabsorción en el TCP y el asa de Henle recupera todos los nutrientes orgánicos, el 85% del agua y más del 90% del sodio y el cloruro. El agua, los iones y los residuos orgánicos filtrados en el glomérulo que forman el remanente quedan en el asa y pasan entonces al túbulo contorneado distal.

Túbulo contorneado distal [v. figuras 26.6/26.7b,c/26.8a,c,d]

La rama ascendente del asa de Henle termina formando un ángulo agudo que sitúa la pared tubular en estrecho contacto con el glomérulo y los vasos que lo acompañan. El túbulo contorneado distal (TCD) se inicia en esa curva. La porción inicial del TCD atraviesa el polo vascular del corpúsculo renal, pasando entre las arteriolas aferente y eferente (**v. figura 26.8a,c,d**).

Visto en sección (**v. figuras 26.6** y **26.7b,c**), el TCD se diferencia del TCP en que: 1) el TCD tiene menor diámetro; 2) las células epiteliales del TCD carecen de microvellosidades, y 3) los límites entre las células epiteliales del TCD están diferenciados. Estas características reflejan las principales distinciones funcionales entre las dos áreas de los túbulos contorneados: el TCP está implicado sobre todo en la reabsorción, mientras que el TCD lo está en la secreción.

El TCD es una importante localización para: 1) la secreción activa de iones, ácidos y otros materiales; 2) la reabsorción activa de iones sodio y calcio del líquido tubular, y 3) la reabsorción selectiva de agua, que contribuye a concentrar dicho líquido. Las actividades de transporte de sodio del TCD son controladas por los niveles circulantes de la *aldosterona* secretada por la corteza suprarrenal [p. 516].

Complejo yuxtaglomerular [v. figura 26.8c] Las células epiteliales del TCD inmediatamente adyacentes a la arteriola aferente en el polo vascular del glomérulo son más altas que las presentes en cualquier otra parte del túbulo. Esta región del TCD, detallada en la **figura 26.8c**, se denomina **mácula densa.** Sus células controlan la concentración de electrólitos (específicamente de sodio y cloruro) en el líquido tubular. Las células de la mácula densa están estrechamente asociadas a inusuales fibras de músculo liso presentes en la pared de la arteriola aferente. Estas fibras musculares se conocen como **células yuxtaglomerulares.** Las **células mesangiales extraglomerulares** ocupan el espacio comprendido entre el glomérulo, las arteriolas aferente y eferente y el TCD. Junto con la mácula densa, las células yuxtaglomerulares y mesangiales extraglomerulares forman el **complejo** o **aparato yuxtaglomerular,** estructura endocrina que secreta dos hormonas, *renina* y *eritropoyetina*, descritas en el capítulo 19 [p. 518]. Estas hormonas, liberadas cuando la presión arterial, el flujo sanguíneo o los niveles de oxígeno locales disminuyen, hacen aumentar el volumen de sangre, hemoglobina y presión arterial y restablecen las tasas normales de producción de filtrado.

Sistema colector [v. figuras 26.6/26.7a,d,e,f]

El TCD, último segmento de la nefrona, se abre al sistema colector, integrado por *túbulos conectores, conductos colectores* y *conductos papilares.* (**v. figura 26.7a,d**). Cada túbulo colector comunica una nefrona con un conducto colector próximo (**v. figura 26.7a,e,f**). Por su parte, cada uno de estos conductos recibe líquido de numerosos túbulos conectores, que drenan nefronas tanto corticales como yuxtaglomerulares. Varios conductos colectores convergen para evacuar en el conducto papilar, más ancho, que evacua a su vez en un cáliz menor de la pelvis renal. El epitelio que reviste el sistema colector consta inicialmente de células cuboidales simples en los túbulos conectores y se convierte en epitelio columnar en los conductos colectores y papilares (**v. figura 26.6**).

Además de conducir el líquido tubular de la nefrona a la pelvis renal, el sistema colector realiza los ajustes finales de concentración osmótica y volumen de dicho líquido. Los mecanismos reguladores modifican la permeabilidad de los conductos colectores al agua. Este cambio es significativo, ya que los conductos colectores pasan a través de la médula, donde el asa de Henle establece concentraciones de soluto muy altas en el líquido intersticial. Si la permeabilidad del conducto colector es baja, la mayor parte del líquido tubular que alcanza dicho conducto fluye a la pelvis renal, por lo que la orina será diluida. Por contra, si la permeabilidad del conducto es elevada, el flujo osmótico de agua del conducto a la médula se verá favorecido, dando lugar a una pequeña cantidad de orina altamente concentrada. La hormona antidiurética (ADH) es la responsable de controlar la permeabilidad del sistema colector [p. 510]. Cuanto mayores son los niveles de ADH circulante, mayores son la cantidad de agua reabsorbida y la concentración de la orina.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Describa el recorrido de una gota de sangre de la arteria renal hasta un glomérulo, y su paso a la vena renal.
2. Describa el recorrido del filtrado desde un glomérulo hasta un cáliz menor.
3. Explique por qué la filtración por sí sola no basta para la producción de orina.
4. ¿Cuál es la función del asa de Henle?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Avances en el tratamiento de la insuficiencia renal Un riñón normal es suficiente para filtrar la sangre y mantener la homeostasis. Así pues, la insuficiencia renal no se desarrolla a no ser que ambos riñones estén dañados. Es característico el hecho de que el tratamiento de la insuficiencia renal crónica se base en la limitación de agua y sal y la reducción al mínimo de la ingesta de proteínas en la dieta. Esta combinación disminuye la tensión sobre el aparato urinario, reduciendo el volumen de orina producida y evitando la generación de grandes cantidades de residuos nitrogenados.

Si los fármacos y el control dietético no pueden estabilizar la composición de la sangre, han de adoptarse medidas más radicales. En la **hemodiálisis,** una máquina de diálisis que contiene una membrana artificial se utiliza para regular la composición de la sangre. Para la diálisis renal temporal, un tubo de silicona denominado derivación se inserta en una arteria y una vena de tamaño medio. La ubicación habitual suele ser el antebrazo, aunque también se emplea la parte inferior de la pierna. Cuando está conectada a la máquina de diálisis, la persona permanece sentada junto a ella mientras la sangre circula de la derivación a la máquina y dentro de ella, para volver al organismo por la derivación venosa. La sangre del paciente es filtrada por una *membrana* artificial permeable selectiva, que contiene poros lo bastante grandes para permitir el paso de iones pequeños, pero también lo suficientemente reducidos como para evitar la pérdida de proteínas plasmáticas. Del otro lado de la membrana fluye un *líquido de diálisis* especial. A medida que se produce la difusión a través de la membrana, la composición sanguínea cambia. Iones de potasio, fosfato y sulfato, urea, creatinina y ácido úrico se difunden a través de la membrana hacia el líquido de diálisis El bicarbonato y la glucosa se difunden al flujo sanguíneo. De hecho, la difusión a través de la membrana de diálisis reemplaza a la filtración glomerular normal. Las características del líquido de diálisis pueden modificarse en cada paciente para garantizar que los metabolitos importantes quedan en la sangre en vez de difundirse a través de la membrana.

Como alternativa a la hemodiálisis, la **diálisis peritoneal** usa el revestimiento peritoneal como membrana de diálisis. El líquido de diálisis se introduce en el peritoneo por un catéter conectado a la cavidad abdominal y el líquido es extraído y reemplazado a intervalos regulares. Una aplicación supone un ciclo de 2 litros de líquido en 1 hora: 15 minutos de infusión, 30 de intercambio y 15 de recuperación del líquido. Esta técnica puede aplicarse en la unidad de diálisis o en el domicilio del paciente. En la **diálisis peritoneal ambulatoria continua (DPAC)** los pacientes se autoadministran 2 litros de líquido de diálisis por un catéter y continúan con su actividad normal hasta 4 o 6 horas después, cuando el líquido es reemplazado por líquido de diálisis nuevo.

Probablemente, la solución más satisfactoria para la calidad de vida es el *trasplante de riñón,* consistente en la implantación de un nuevo riñón obtenido de un donante vivo o de un cadáver. El riñón dañado se extirpa y su irrigación es conectada al trasplantado. Se realiza un injerto arterial para conducir la sangre de la arteria ilíaca o la aorta al riñón trasplantado, que se dispone en la pelvis o en la cavidad abdominal inferior. La tasa de éxito en este tipo de trasplantes es variable. El éxito a 1 año es actualmente del 85%-95%. El uso de riñones de parientes cercanos mejora significativamente los resultados a 5 años o más. Para reducir el rechazo se utilizan fármacos inmunodepresores, lo que rebaja la resistencia del paciente a las infecciones.

Estructuras para el transporte, el almacenamiento y la eliminación de la orina [v. figura 26.9c]

La modificación del filtrado y la producción de orina concluyen cuando el líquido entra en el cáliz menor. Las restantes partes del aparato urinario *(uréteres, vejiga urinaria* y *uretra)* son responsables del transporte, almacenamiento y eliminación de la orina. La **figura 26.9c** ofrece una orientación sobre las dimensiones y posiciones relativas de estos órganos.

Los cálices menores y mayores, la pelvis renal, los uréteres, la vejiga urinaria y la porción proximal de la uretra están revestidos por un *epitelio de transición* que soporta ciclos de distensión y contracción sin resultar dañado [p. 57].

Uréteres [v. figuras 26.1a,b/26.2/26.3/26.9c/26.10]

Los uréteres son dos tubos musculares que se extienden en dirección inferior desde los riñones a lo largo de unos 30 cm antes de llegar a la vejiga urinaria (**v. figura 26.1a,b**, p. 695). Cada uréter se inicia como continuación de la pelvis renal en forma de embudo a través del hilio (**v. figuras 26.3**, p. 697, y **26.9c**). En su avance hacia la vejiga, los uréteres pasan inferior y medialmente sobre los músculos psoas mayores. Son órganos retroperitoneales, firmemente fijados a la pared abdominal posterior (**v. figuras 26.2**, p. 696). El recorrido de los uréteres hacia la vejiga es distinto en varones y mujeres, debido a diferencias en la naturaleza, el tamaño y la posición de los órganos reproductores (**v. figura 26.10a,b**).

Los uréteres penetran en la pared posterior de la vejiga urinaria sin entrar en la cavidad peritoneal. Pasan por dicha pared en un ángulo oblicuo y el **orificio ureteral** presenta más forma de hendidura que redondeada (**v. figuras 26.10c**). Esta forma ayuda a evitar el flujo retrógrado de la orina hacia los uréteres y los riñones cuando la vejiga se contrae.

Histología de los uréteres [v. figura 26.11a]

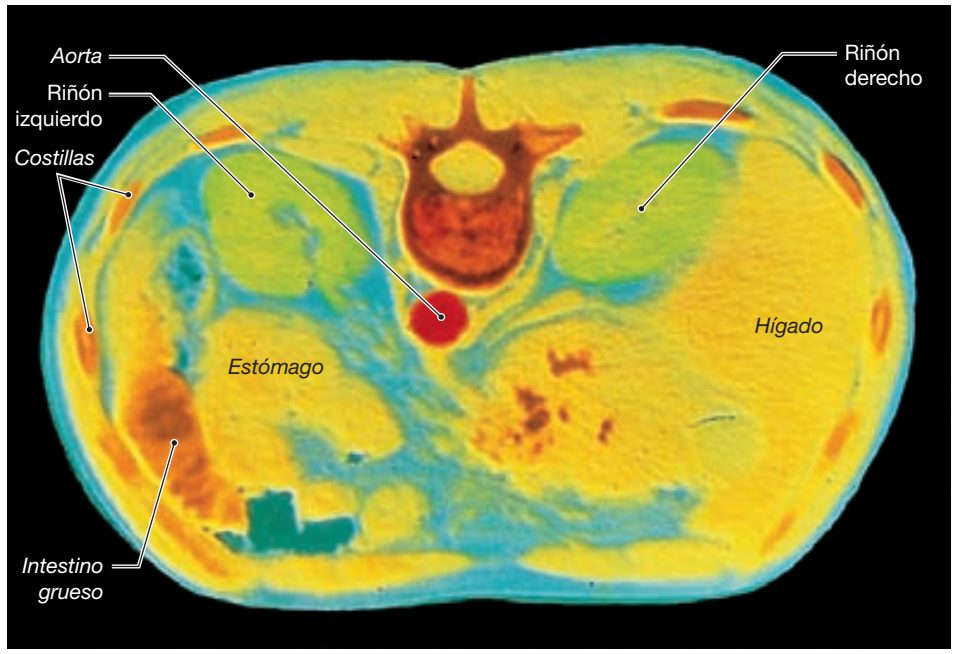
La pared de cada uréter consta de tres capas: 1) una mucosa interna revestida por epitelio de transición; 2) una capa muscular media constituida por bandas longitudinales (internas) y circulares (externas) de músculo liso, y 3) una capa externa de tejido conjuntivo (adventicia) en continuidad con la cápsula fibrosa y el peritoneo (**v. figura 26.11a**). Partiendo del riñón, aproximadamente cada medio minuto, contracciones peristálticas son generadas por estimulación de los receptores de tensión de la pared ureteral. Tales contracciones «ordeñan» la orina de la pelvis renal y la conducen a la vejiga por los uréteres.

Vejiga urinaria [v. figura 26.10 b,c]

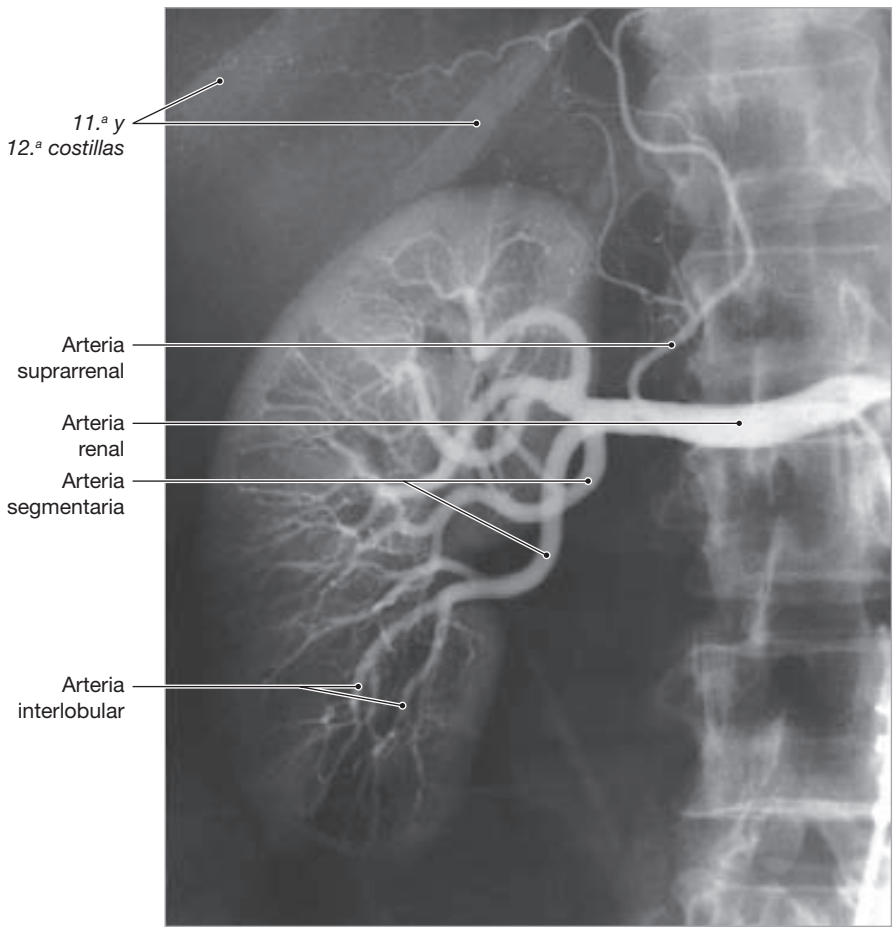
La vejiga urinaria es un órgano muscular hueco que actúa como reservorio temporal para la orina. En el varón, la base de la vejiga se sitúa entre el recto y la sínfisis púbica. En la mujer, la base se asienta en posición inferior al útero y anterior a la vagina. Las dimensiones de la vejiga son variables, dependiendo de su estado de distensión, pero su capacidad total es de aproximadamente un litro de orina.

Las superficies superiores de la vejiga están cubiertas por una capa de peritoneo y varios pliegues peritoneales contribuyen a estabilizarla en su posición. El **ligamento umbilical medio** se extiende desde el borde anterior y superior hacia el ombligo (**v. figura 26.10b,c**). Los **ligamentos umbilicales laterales** pasan a los lados de la vejiga y también alcanzan el ombligo. Estos filamentos fibrosos contienen los vestigios de las dos *arterias umbilicales* que aportan sangre a la placenta durante el desarrollo embrionario y fetal [p. 600]. Las superficies posterior, inferior y anterior de la vejiga se sitúan fuera de la cavidad peritoneal. En estas áreas, unas bandas ligamentosas resistentes fijan la vejiga a los huesos pélvicos y púbicos.

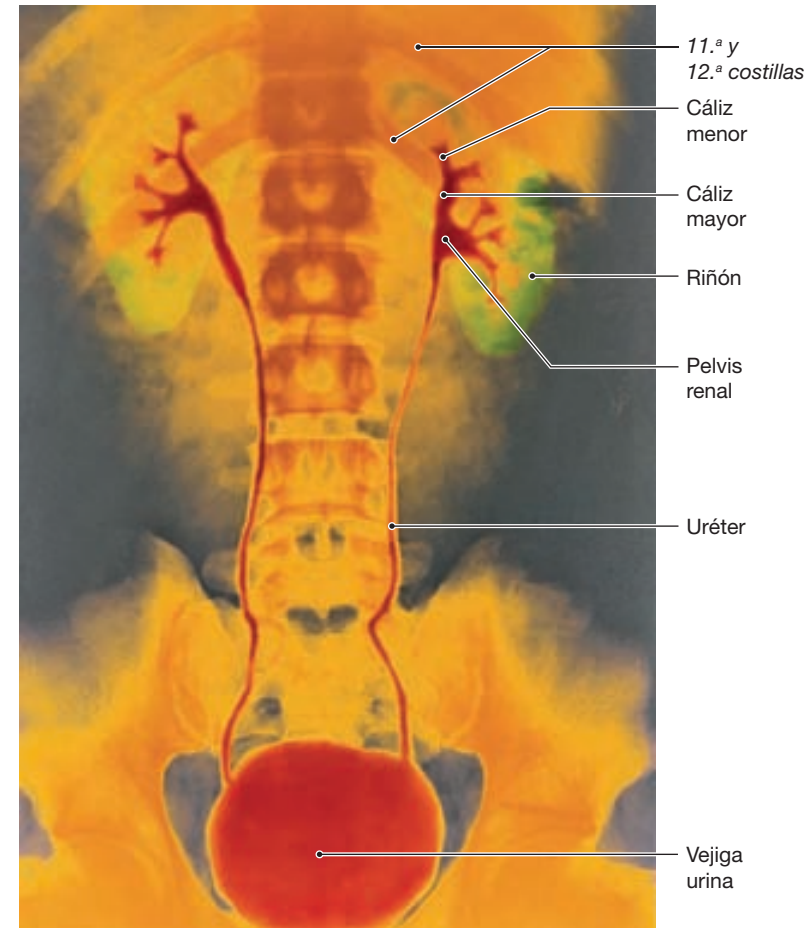
En una imagen en sección (**v. figura 26.10c**), la mucosa que reviste la vejiga urinaria suele presentar **pliegues,** que desaparecen cuando la vejiga se expande al llenarse de orina. El área triangular delimitada por los orifi-



(a) TC resaltada con color



(b) Angiografía renal



(c) Pielografía normal

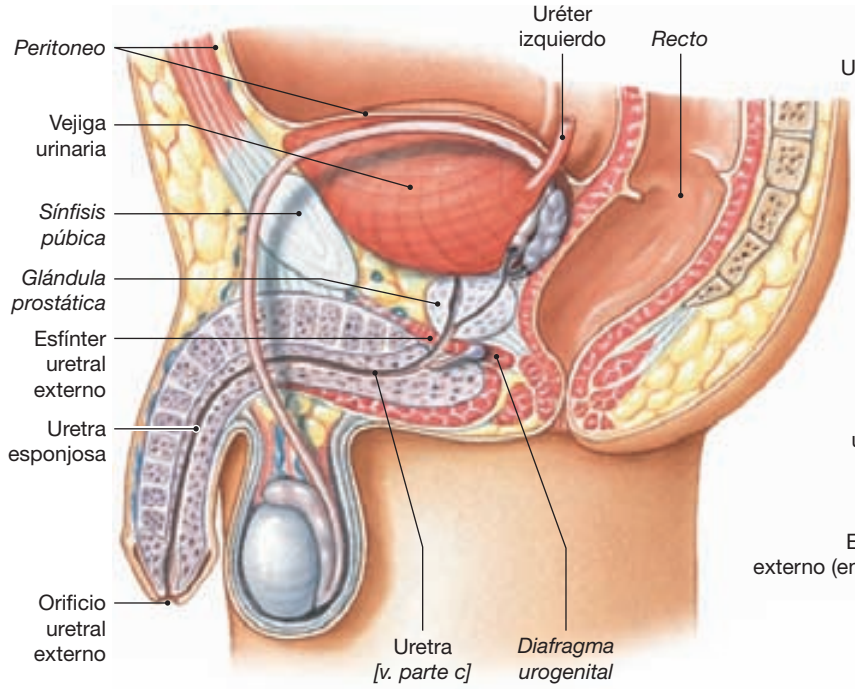
Figura 26.9 Imágenes del aparato urinario
TC que muestra la posición de los riñones en una sección transversal del tronco vista desde abajo. Las imágenes aportan información útil sobre alteraciones o masas localizadas. **(b)** Arteriografía del riñón derecho. La técnica requiere la administración de un medio radioopaco que permita la visualización de los vasos en una imagen de rayos X. **(c)** Radiografía coloreada tomada tras inyección de un colorante radioopaco filtrado en la orina. La técnica, conocida como *pielografía,* a menudo se denomina pielografía intravenosa (PIV).

cios ureterales y la entrada de la uretra conforma el **trígono** vesical. En él, la mucosa carece de pliegues y es lisa y de notable espesor. El trígono actúa como un embudo que canaliza la orina hacia la uretra cuando la vejiga se contrae.

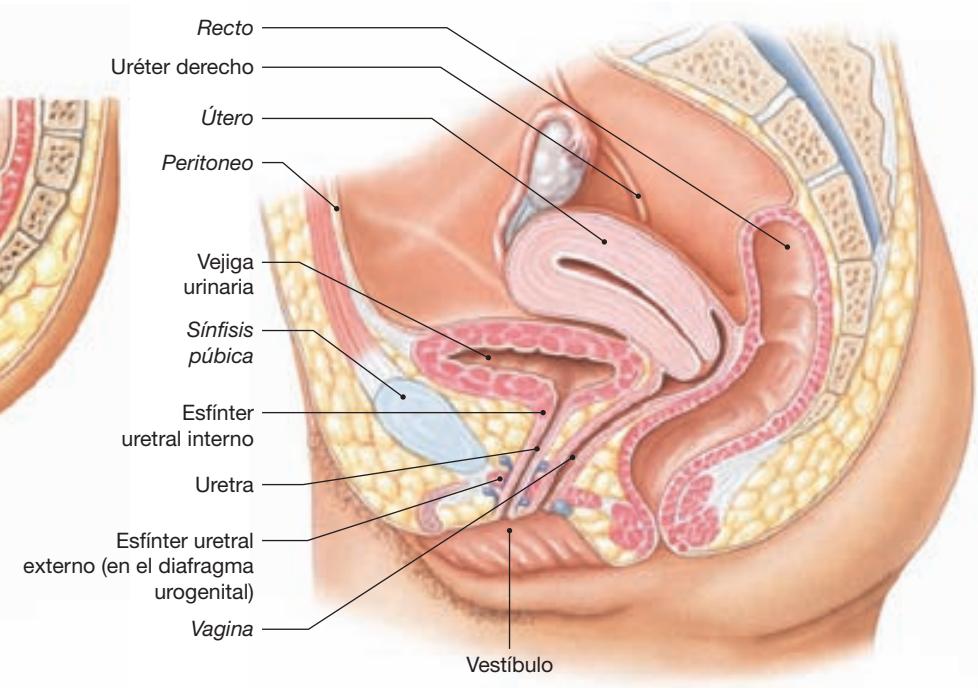
La entrada uretral se sitúa en el vértice del trígono, en el punto inferior de la vejiga. La región que rodea el orificio de la uretra, conocido como **cuello de la vejiga urinaria,** contiene un **esfínter uretral interno** (v. figura 26.10b,c). El músculo liso de dicho esfínter proporciona control involuntario sobre la descarga de orina desde la vejiga. Esta es inervada por fibras posganglionares procedentes de los ganglios del *plexo hipogástrico* y fibras parasimpáticas procedentes de los ganglios intramurales controlados por las ramas de los nervios pélvicos [p. 463].

Histología de la vejiga urinaria [v. figura 26.11b]

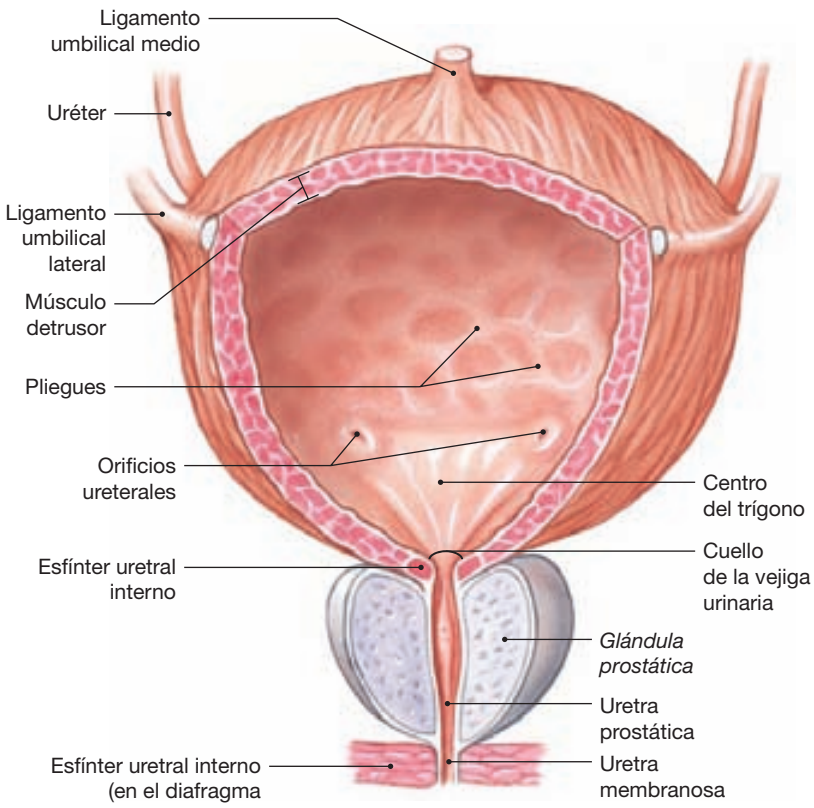
La pared de la vejiga está compuesta por una capa mucosa de epitelio de transición, una submucosa y una muscular (v. figura 26.11b). La capa muscular



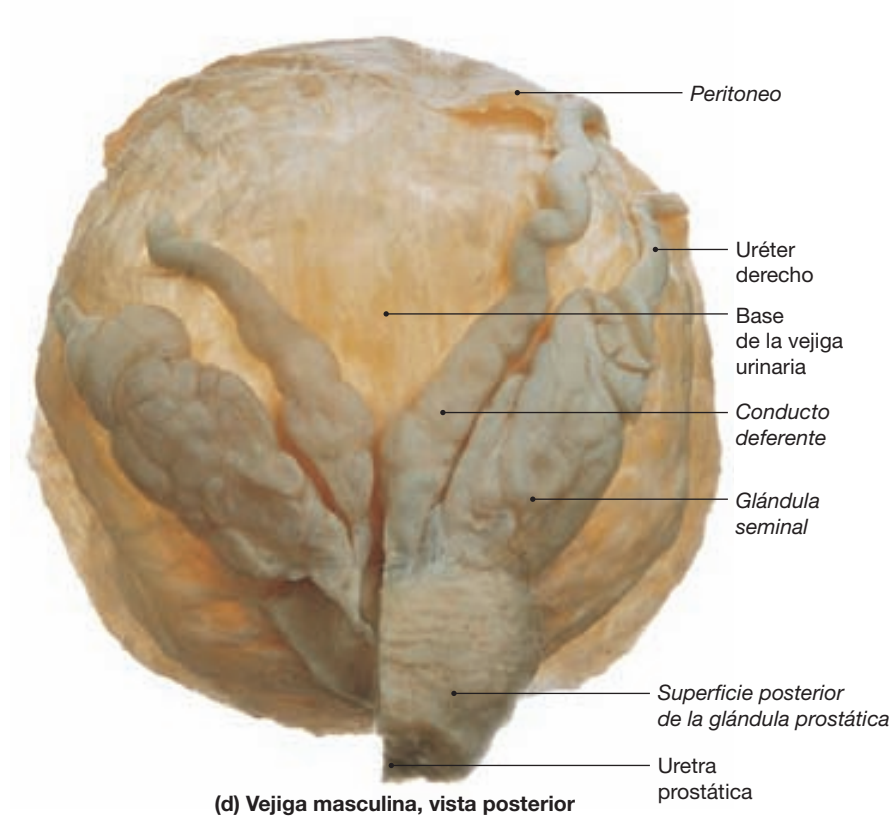
(a) Pelvis masculina, sección sagital



(b) Pelvis femenina, sección sagital



(c) Vejiga masculina, vista anterior



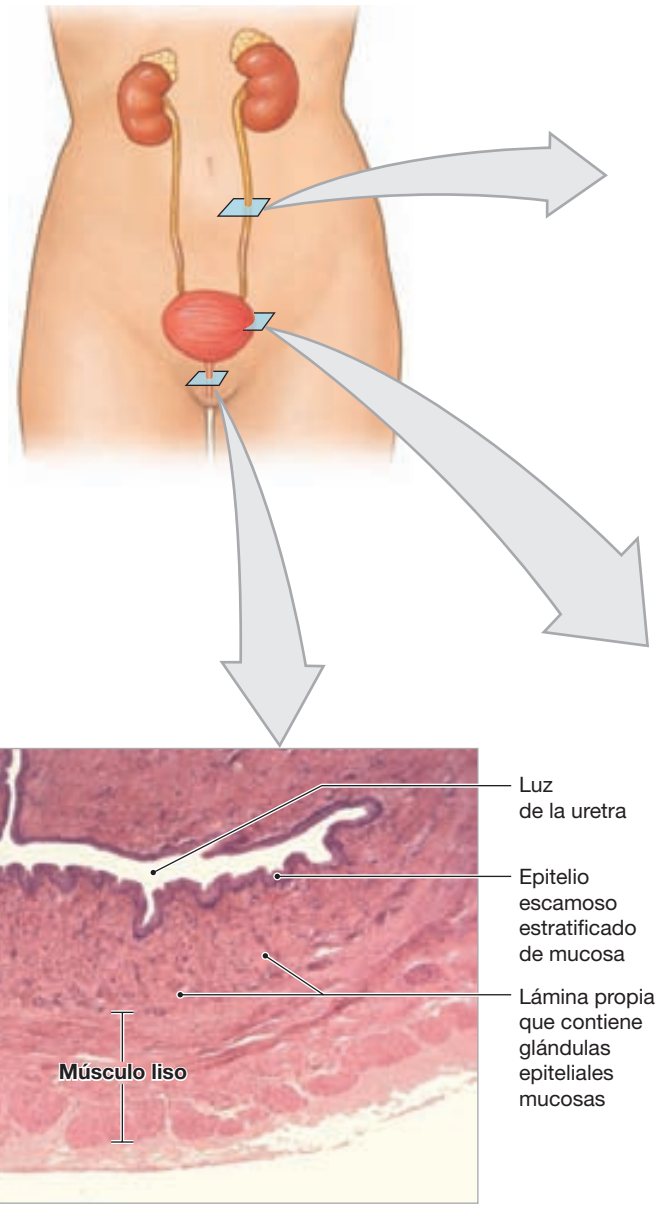
(d) Vejiga masculina, vista posterior

Figura 26.10 Órganos responsables de la conducción y almacenamiento de la orina
(a) Posición del uréter, la vejiga urinaria y la uretra en el varón. **(b)** Posición de los órganos en la mujer. **(c)** Anatomía de la vejiga urinaria en el varón. **(d)** Vista posterior de la vejiga urinaria del varón y sus estructuras reproductoras accesorias.

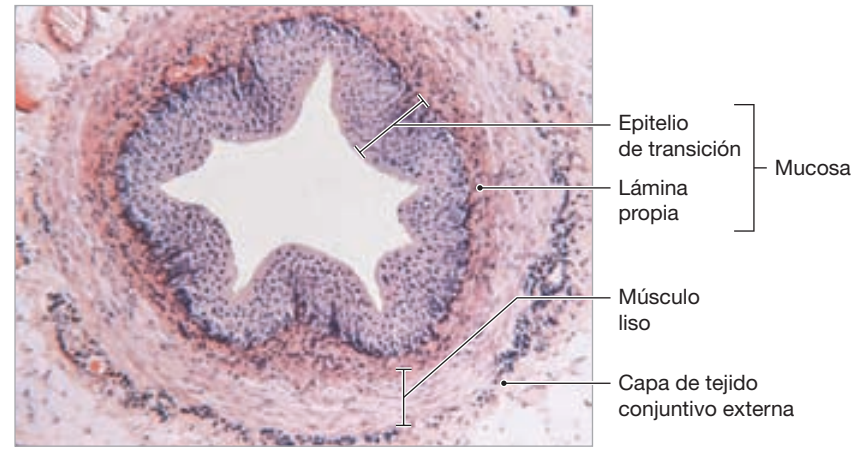
consta a su vez de tres capas: dos capas de músculo liso longitudinal interna y externa, y una tercera capa de músculo circular comprendida entre ellas. En conjunto, las tres forman el potente **músculo detrusor** de la vejiga. La contracción de dicho músculo comprime la vejiga y expulsa la orina a la uretra. La superficie superior de la vejiga urinaria está cubierta por una capa de serosa.

Uretra [v. figura 26.10]

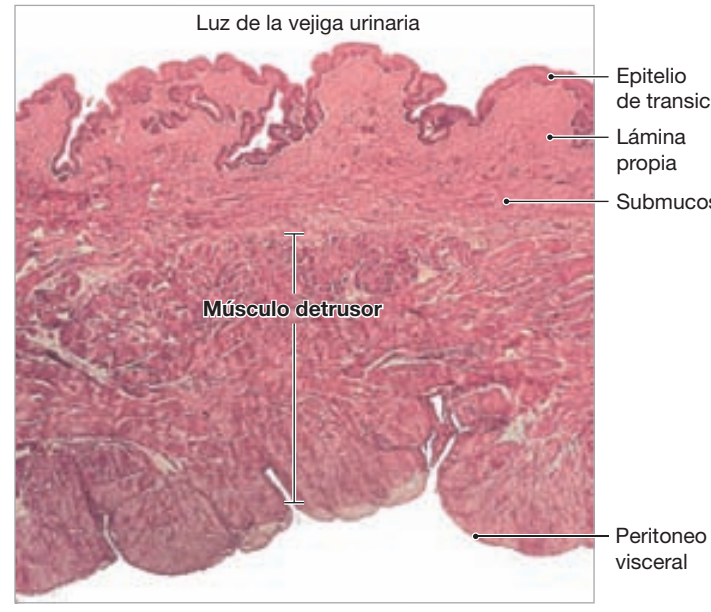
La uretra se extiende desde el cuello de la vejiga urinaria (v. figura 26.10c) hasta el exterior. La uretra de la mujer y del varón difiere en longitud y función. En la mujer es muy corta, de 3-5 cm de longitud desde la vejiga hasta el vestíbulo (v. figura 26.10b). Su apertura externa, u **orificio uretral externo,** se sitúa cerca de la pared anterior de la vagina.


Luz de la uretra
Epitelio escamoso estratificado de mucosa
Lámina propia que contiene glándulas epiteliales mucosas
Músculo liso

(c) Uretra femenina MO × 61



(a) Uréter MO × 65



(b) Vejiga urinaria MO × 36

Figura 26.11 Histología de los órganos colectores y de transporte
(a) Uréter en sección transversal. Obsérvese la gruesa capa de músculo liso en torno a la luz *(v. también figura 3.5c).* **(b)** Pared de la vejiga urinaria. **(c)** Sección transversal de la uretra femenina.

Nota clínica

Problemas con el sistema de conducción Se pueden producir bloqueos locales de los túbulos colectores, los conductos colectores o los uréteres por formación de pequeños coágulos o la presencia de células epiteliales, lípidos u otros materiales, colectivamente denominados **cilindros urinarios.** Los **cálculos** o «piedras del riñón» se forman por depósito de calcio, magnesio o ácido úrico, que da lugar a una afección llamada nefrolitiasis. La **obstrucción urinaria,** debida a cálculos u otros factores, como la compresión externa, es un trastorno doloroso y grave que reduce o anula la filtración del riñón afectado. Si el peristaltismo y la presión del líquido no pueden desalojarlos, los cálculos han de extirparse quirúrgicamente o ser destruidos. Una alternativa no quirúrgica consiste en disgregarlos con un litotrictor, similar al empleado para destruir los cálculos biliares.

En el varón, la uretra se extiende desde el cuello de la vejiga hasta la punta del pene, a lo largo de una distancia de 18-20 cm. La uretra masculina se divide en tres porciones (**v. figura 26.10a,c,d**): 1) la *uretra prostática*; 2) la *uretra membranosa*, y 3) la *uretra esponjosa*.

La **uretra prostática** atraviesa el centro de la glándula prostática (**v. figura 26.10c**). La **uretra membranosa** incluye el breve segmento que penetra en el diafragma urogenital, el suelo muscular de la cavidad pélvica **[pp. 280-281].** La **uretra esponjosa,** o *peneana*, se extiende desde el borde distal del diafragma urogenital hasta el orificio uretral externo en la punta del pene (**v. figura 26.10a**). Las diferencias funcionales entre estas regiones se analizan en el capítulo 27.

En ambos sexos, cuando la uretra atraviesa el diafragma urogenital, una banda circular de músculo estriado forma el **esfínter uretral externo** **[pp. 280-281]**. Las contracciones de los esfínteres uretrales externo e interno son controladas por ramas del plexo hipogástrico. Sólo el esfínter uretral externo es de control voluntario, a través de la rama perineal del nervio pudendo **[p. 281].** El esfínter presenta tono muscular de reposo y suele rela-

jarse voluntariamente para permitir la micción. La inervación autónoma del esfínter externo sólo es importante cuando se carece de control voluntario, como en lactantes o en personas con lesiones medulares (v. más adelante el apartado referido al reflejo de micción).

Histología de la uretra [v. figura 26.11c]

En la mujer, el revestimiento uretral suele ser un epitelio de transición situado cerca del cuello de la vejiga urinaria. El resto de la uretra está revestido generalmente por un epitelio escamoso estratificado (**v. figura 26.11c**). La lámina propia contiene una extensa red de venas y el conjunto está rodeado por capas concéntricas de músculo liso.

En los varones, la organización histológica de la uretra varía a lo largo de su extensión. A medida que se avanza desde el cuello de la vejiga hacia el orificio uretral externo, el epitelio pasa de ser de transición a ser cilíndrico seudoestratificado o estratificado y, a continuación, escamoso estratificado. La lámina propia es gruesa y elástica y en la membrana mucosa se presentan pliegues longitudinales. En los sacos epiteliales se encuentran células secretoras de moco y, en el varón, las glándulas mucosas epiteliales pueden formar túbulos que se extienden a la lámina propia. El tejido conjuntivo de la lámina propia fija la uretra a las estructuras adyacentes.

Reflejo de micción y evacuación de la orina

La orina llega a la vejiga urinaria por medio de las contracciones peristálticas de los uréteres. El proceso de evacuación de la orina, que vacía la vejiga, se controla a través del **reflejo de micción.** Los receptores de distensión de la pared vesical son estimulados a medida que esta se llena de orina. Las fibras aferentes de los nervios pélvicos conducen los impulsos generados a la médula espinal sacra. El aumento de su nivel de actividad: 1) promueve la actividad de las neuronas motoras parasimpáticas en la médula espinal sacra; 2) estimula la contracción de la vejiga, y 3) estimula a las interneuronas que transmiten las sensaciones a la corteza cerebral. De este modo, somos conscientes del efecto de la presión del líquido en la vejiga urinaria. El impulso de micción se desarrolla inicialmente cuando la vejiga contiene unos 200 mL de orina.

La micción voluntaria requiere relajación consciente del esfínter externo y aportación subconsciente del reflejo de micción. Cuando el esfínter uretral externo se relaja, la retroalimentación mediada por el sistema nervioso autónomo relaja a su vez el esfínter uretral interno. La tensión de los músculos abdominales y espiratorios aumenta las presiones abdominales y contribuye a comprimir la vejiga urinaria. Al final de una micción normal, la vejiga suele contener menos de 10 mL de orina. En ausencia de relajación voluntaria del esfínter uretral externo, puede producirse relajación refleja de ambos esfínteres cuando la vejiga se aproxima a su capacidad de almacenamiento.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Entre qué dos puntos interrumpe el flujo de orina la obstrucción de un uréter por un cálculo renal?
2. Explique el modo en el que el revestimiento urinario permite que la vejiga se distienda.
3. ¿Por qué son más propensas a las infecciones urinarias las mujeres que los hombres?
4. ¿Cómo se mantiene en posición la vejiga urinaria?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Nota clínica

Infecciones urinarias Las **infecciones del tracto urinario (ITU)** son causadas por bacterias u hongos que colonizan las vías urinarias. La bacteria *Escherichia coli* es una de las más habitualmente implicadas. Las mujeres son más sensibles a estas infecciones, por la proximidad del orificio de la uretra al ano. El coito también puede impulsar las bacterias a la uretra y, dado que esta es relativamente corta en la mujer, a la vejiga urinaria.

La alteración es a veces asintomática, aunque puede detectarse por presencia de bacterias y células sanguíneas en la orina. Si hay inflamación de la pared uretral, el trastorno se denomina **uretritis,** mientras que la inflamación del revestimiento de la vejiga es la **cistitis.** Son numerosas las infecciones que afectan a ambos órganos en distinto grado. La micción se hace dolorosa, en un síntoma denominado **disuria,** y la vejiga se presenta dolorida y sensible a la presión. Además de estas molestias, la persona tiene frecuentes impulsos de micción. Las ITU suelen responder a la antibioterapia, aunque son frecuentes las reinfecciones.

En casos no tratados, las bacterias pueden avanzar por los uréteres hasta la pelvis renal, La inflamación de las paredes de la pelvis renal causa **pielitis.** Si las bacterias llegan a la corteza y la médula renales, se produce **pielonefritis.** Entre los signos y síntomas de pielonefritis se cuentan fiebre alta, dolor intenso en el lado afectado, vómitos, diarrea y presencia de sangre y pus en la orina.

Envejecimiento y aparato urinario

En general, el envejecimiento se asocia con aumento de la incidencia de problemas renales. Entre las alteraciones del aparato urinario relacionados con la edad se cuentan los siguientes:

1. *Reducción en el número de nefronas funcionales:* el número total de nefronas funcionales se reduce en un 30%-40% entre los 25 y los 85 años.
2. *Reducción de la filtración glomerular:* esta reducción es consecuencia del menor número de glomérulos, del daño acumulativo en el aparato de filtración de los glomérulos remanentes y en la reducción del flujo renal.
3. *Disminución de la sensibilidad a la ADH:* con la edad, las porciones distales de la nefrona y el conjunto del sistema colector se hacen menos sensibles a la ADH. Con la menor reabsorción de agua e iones de sodio, la micción se hace más frecuente y los requerimientos de líquidos diarios aumentan.
4. *Problemas con el reflejo de micción:* entre los problemas implicados en el proceso se cuentan los siguientes:
   - **a.** Los músculos esfinterianos pierden tono muscular y resultan menos eficaces en la retención voluntaria de orina. Ello da lugar a *incontinencia,* con pérdidas de orina leves.
   - **b.** La capacidad de control de la micción se pierde en ocasiones tras un ictus, en la enfermedad de Alzheimer o en otros problemas del SNC que afectan a la corteza cerebral o el hipotálamo.
   - **c.** En varones puede producirse **retención de orina,** debida a inflamación crónica de la próstata. En esta afección, la tumefacción y la distorsión de los tejidos prostáticos comprimen la uretra prostática, restringiendo o anulando el flujo de orina.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato urinario, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Caso clínico

APARATO URINARIO

¿POR QUÉ ELLA SE PUSO TAN ENFERMA Y YO NO?

Exploración inicial

Julie es una estudiante de tercer año de una pequeña universidad del Medio Oeste. Con ocasión del *Sibling Weekend,* Julie deja que su hermana de 7 años, Danni, pase con ella el fin de semana en el campus. Ella y Danni van a un partido de fútbol americano, al de fútbol femenino y a ver una película. Sin embargo, lo que más le gusta a Danni es ir a comer al Burrito Bob. Se trata de un pequeño restaurante familiar que está en un pequeño pueblo a unos 5 km de la universidad. El Burrito Bob se convirtió en el restaurante favorito de Danni el día que ella y su familia acompañaron a Julie al empezar el curso y siempre quiere ir allí cuando visita a su hermana.

Dos o 3 horas después de comer Danni y Julie comienzan a sentir náuseas y presentaron diarrea. Su estado va empeorando a lo largo del día, por lo que Julie decide llamar a casa para pedir consejo. Por indicación de su padre, acude al servicio de urgencias con su hermana a eso de medianoche. El médico de urgencias que explora a Julie y a Danni determina lo siguiente:

- Ambas han tenido deposiciones diarreicas cada 15 o 30 minutos durante las últimas 5 o 6 horas.
- La temperatura de Julie es 38 °C; la de Danni, 38,5 °C.
- Las dos sienten dolores cólicos abdominales.
- Las muestras fecales son positivas para sangre.
- El hemograma completo muestra un exceso en el recuento leucocitario de 10.000 por mm^3.
- Las muestras de heces de las dos hermanas son enviadas al laboratorio para coprocultivo.

El médico sospecha de una intoxicación alimentaria bacteriana. Ambas pacientes son tratadas con reposición de fluidos en la unidad de urgencias y se les indica qué tipo de líquidos deben continuar tomando en casa. El médico, que recibirá los resultados del coprocultivo en 48-72 horas, asesora a Julie y Danni sobre cómo manipular y preparar los alimentos, incluidas las verduras de hoja y la carne poco hecha. Les explica que la manipulación inadecuada de los alimentos puede producir un crecimiento bacteriano que supere la capacidad de las defensas gastrointestinales (como la acidez del estómago) y cause una intoxicación.

Tres días más tarde sus padres están preocupados. Llaman a Julie, que les dice que ella está mejor, sin fiebre ni diarrea. Sin embargo, Danni, que ya está en casa con sus padres, continúa teniendo fiebre (39 °C) y diarrea persistente. La niña también ha desarrollado unas manchas rojizas por la piel de todo el cuerpo y está en estado de obnubilación. Al ponerse en contacto con su pediatra, este les dice que se reúnan con él en el servicio de urgencias de inmediato.

Exploración de seguimiento

Durante la exploración, el pediatra explica a los padres de Danni que cree que la niña padece una rara complicación de las intoxicaciones alimentarias que, si no se trata de inmediato, puede derivar en insuficiencia renal. El pediatra registra los siguientes datos:

- Fiebre de 39,5 °C.
- Petequias generalizadas.
- El hemograma indica anemia, con un nivel de hemoglobina de 7 g/dL.
- El análisis de orina muestra proteinuria y presencia de leucocitos, eritrocitos y cilindros hemáticos en orina.
- El nitrógeno ureico en sangre (BUN) y la creatinina están elevados.
- La ecografía renal muestra ausencia de obstrucción urinaria.

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en este capítulo. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, consultando de nuevo este capítulo si necesita alguna ayuda.

1. La nefrona está compuesta por varias partes, cada una de las cuales desempeña funciones distintas en la formación de la orina. Las pruebas urinarias de Danni muestran presencia de varias sustancias que no se encuentran en la orina de una persona sana. ¿Se hallan estas sustancias en la sangre normal? Si es así, ¿cómo se puede explicar su presencia en la orina de la niña?
2. En la formación de la orina, el proceso de filtración afecta a tres barreras de difusión física. ¿Cuáles son estas barreras y cómo desarrollan sus funciones?
3. El capítulo 25 analiza la anatomía histológica de las vísceras del sistema digestivo. ¿Qué capa histológica del intestino grueso debe estar dañada para que la sangre pase a la luz de ese intestino?

Casoc línico *(cont.)*

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas indicadas entre corchetes.

1. La nefrona está compuesta por el corpúsculo renal, el túbulo contorneado proximal (TCP), el asa de Henle (asa de la nefrona), el túbulo contorneado distal (TCD) y el sistema colector, pp. 698-703. El corpúsculo renal filtra la sangre y el filtrado resultante contiene residuos metabólicos y otros compuestos orgánicos. La principal función del TCP es la reabsorción de nutrientes orgánicos, iones y proteínas plasmáticas presentes en el filtrado. El asa de Henle es responsable de la reabsorción de agua, sodio y cloruro. El TCD es importante para la secreción de iones, ácidos y otros materiales, así como de la reabsorción de sodio y calcio de los líquidos tubulares. El último segmento de la nefrona, el sistema colector, se encarga del transporte del líquido tubular de la nefrona a la pelvis renal, así como de los ajustes finales de presión osmótica y volumen, p. 703.
2. La barrera de filtración dentro del corpúsculo renal está constituida por el endotelio capilar, la lámina basal y el epitelio glomerular, pp. 699-703. La presencia anómala de proteínas plasmáticas y células sanguíneas en la orina de Danni puede ser indicativa de daño en uno o más componentes de esta barrera de difusión.
3. Los órganos huecos del sistema digestivo están compuestos por las siguientes barreras: mucosa, submucosa, muscularis externa y serosa. El revestimiento interior, o mucoso, está formado por un epitelio lubricado por secreciones glandulares. La capa subyacente, la lámina propia, contiene vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas sensoriales, fibras de músculo liso y áreas diseminadas de tejido linfático [pp. 656, 675-679]. Si la sangre está penetrando en la luz de los órganos huecos, el epitelio de revestimiento de la mucosa está dañado.

Diagnóstico

A Danni se le diagnostica un síndrome hemolítico urémico, o SHU, la causa más habitual de insuficiencia renal en niños. Por motivos desconocidos, el número de casos en adolescentes y adultos es significativamente inferior que el registrado en niños de entre 2 y 7 años.

Se cree que el SHU es causado por lesión en las células endoteliales del corpúsculo renal (v. figura 26.12), que hacen que en la orina haya proteínas plasmáticas, leucocitos, eritrocitos y cilindros hemáticos en cantidades anómalas.

En Norteamérica y Europa occidental el 70% de los casos de SHU son inducidos por una cepa tóxica de *Escherichia coli,* propia de las intoxicaciones alimentarias. Tras la ingestión de este tipo toxigénico de *E. coli*, la bacteria se adhiere a las paredes de la mucosa intestinal. En la actualidad se investigan las razones por las que el microorganismo pasa en ocasiones del tracto intestinal al glomérulo del riñón. Tras la adhesión de *E.coli* a las células endoteliales del corpúsculo renal, todos los componentes de la barrera de filtración resultan dañados, presumiblemente por toxinas bacterianas que atacan el endotelio vascular.

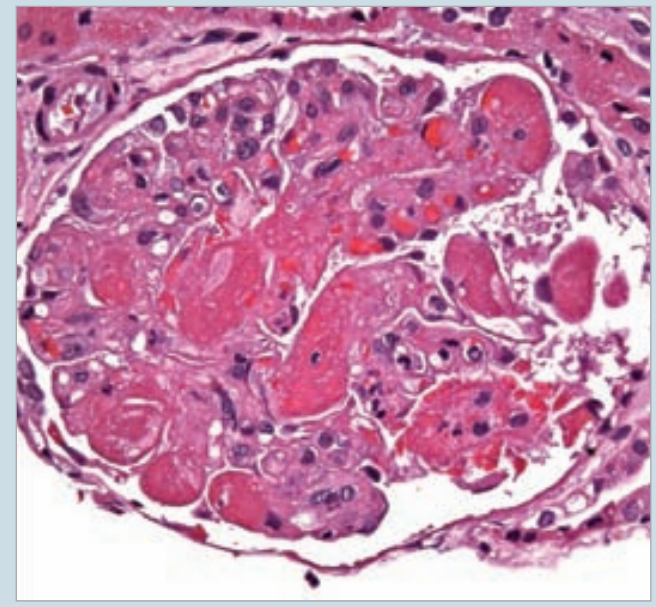


Figura 26.12 Histología de un glomérulo renal de un paciente con una patología similar a la de Danni.

El tratamiento satisfactorio del SHU implica: 1) el rápido diagnóstico de la enfermedad; 2) el mantenimiento del volumen líquido y un adecuado equilibrio electrolítico; 3) el apropiado tratamiento de la anemia, y 4) la observación y el tratamiento, si es necesario, de la posible hipertensión derivada del síndrome. No se recomienda el uso de antibióticos, ya que no han demostrado que mejoren la recuperación y porque pueden afectar al riñón. Los pacientes de menor edad se recuperan en 13 semanas desde el diagnóstico. No obstante, algunos casos no alcanzan la curación, por lo que la insuficiencia renal aguda evoluciona dando lugar a un cuadro que requiere trasplante renal. ■

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

cilindros hemáticos: Agrupaciones de eritrocitos en distintas fases de degeneración que se forman en los túbulos de la nefrona; causados por hemorragia y lesión glomerulares y hallados en la orina.
creatina: Producto de descomposición de la fosfocreatina.
diarrea: Evacuación anormalmente frecuente de heces acuosas.
Escherichia coli: Bacteria que se encuentra normalmente en el intestino de humanos y otros vertebrados; causa intoxicación alimentaria y diarrea.
nitrógeno ureico en sangre (BUN): Cantidad de nitrógeno, en forma de urea, presente en la sangre.
petequias: Pequeñas manchas rojizas hemorrágicas de la piel, del tamaño de una punta de alfiler y que no desaparecen con presión.
proteinuria: Presencia de proteínas en la orina.

TÉRMINOS CLÍNICOS

cálculos: «Piedras en el riñón» formadas por depósitos de calcio, sales de magnesio o cristales de ácido úrico.

cistitis: Inflamación del revestimiento de la vejiga urinaria, generalmente por infección.

disuria: Micción dolorosa.

hemodiálisis: Técnica en la que se emplea una membrana artificial para regular la composición de la sangre y eliminar los productos residuales.

incontinencia: Incapacidad para controlar voluntariamente la micción.

infección del tracto urinario (ITU): Inflamación de las vías urinarias inducida por infección bacteriana o fúngica.

nefrolitiasis: Presencia de cálculos renales.

obstrucción urinaria: Bloqueo del sistema conductor por un cálculo u otros factores.

pielografía: Imagen radiográfica de los riñones tras la administración de un compuesto radioopaco.

uretritis: Inflamación de la pared uretral.

vejiga automática: Trastorno clínico en el que el reflejo de micción permanece íntegro, pero el control voluntario del esfínter uretral externo se pierde por lesión del SNC, por lo que la persona afectada no puede evitar el vaciamiento de la vejiga.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 694

1. Las funciones del aparato urinario incluyen: 1) regulación de la concentración plasmática de iones; 2) regulación del volumen y la presión sanguíneos por ajuste del volumen de agua perdido y liberación de eritropoyetina y renina; 3) contribución a la estabilización del pH sanguíneo; 4) conservación de nutrientes; 5) eliminación de residuos orgánicos, y 6) síntesis de **calcitriol.**
2. El **aparato urinario** incluye **riñones, uréteres, vejiga urinaria** y **uretra.** Los riñones producen **orina** (líquido que contiene agua, iones y compuestos solubles): durante la **micción** la orina es expulsada del organismo *(v. figura 26.1)*.

Riñones 694

1. Los riñones se localizan a los lados de la columna vertebral, entre la última vértebra torácica y la primera lumbar *(v. figuras 26.1 y 26.2)*.
2. La posición de los riñones en la cavidad abdominal es mantenida por: 1) el peritoneo que los recubre; 2) el contacto con los órganos viscerales adyacentes, y 3) los tejidos conjuntivos de soporte. Las tres capas concéntricas de tejido conjuntivo son la **cápsula fibrosa,** que cubre la superficie externa de los órganos; la **grasa perirrenal,** que envuelve la cápsula fibrosa, y la **fascia renal,** que fija el riñón a las estructuras adyacentes *(v. figura 26.3)*.

Anatomía superficial del riñón 694

3. El uréter y los vasos sanguíneos renales están unidos al **hilio** del riñón. La capa interna de la cápsula fibrosa cubre el **seno renal** *(v. figura 26.3)*.

Anatomía seccional del riñón 694

4. El riñón se divide en **corteza renal, médula renal** central y **seno renal** interno. La médula contiene de 6 a 18 **pirámides renales,** cuyos vértices, o **papilas renales,** se proyectan hacia el seno renal. Las **columnas renales** están compuestas por corteza separada, adyacente a las pirámides. Un **lóbulo renal** contiene una pirámide renal, el área de corteza renal que la envuelve y los tejidos adyacentes de las columnas renales *(v. figura 26.3a)*.
5. Los **cálices menores** tienen continuidad en los **cálices mayores.** Estos espacios conducen a la **pelvis renal,** que continúa en el **uréter** *(v. figura 26.3a-c)*.

Irrigación de los riñones 696

6. La vasculatura de los riñones incluye las **arterias renales, segmentarias, interlobulares, arciformes** e **interlobulillares,** junto con las **arteriolas aferentes** que irrigan las nefronas. Desde estas, el flujo sanguíneo se dirige a las venas **interlobulillares, arciformes, interlobulares** y **renales** *(v. figuras 26.4 y 26.5b)*.

Inervación de los riñones 696

7. Los riñones y los uréteres son inervados por los **nervios renales.** La activación simpática regula el flujo y la presión sanguínea glomerulares, estimula la liberación de renina y acelera la reabsorción de sodio y agua.

Histología del riñón 696

8. La nefrona, unidad funcional básica del riñón, está integrada por un **túbulo renal** que evacua en el **sistema colector.** Desde el **corpúsculo renal,** el **líquido tubular** circula por el **túbulo contorneado proximal (TCP),** el **asa de Henle (asa de la nefrona)** y el **túbulo contorneado distal (TCD).** A continuación fluye a través del **túbulo conector,** el **conducto colector** y el **conducto papilar,** hasta alcanzar el cáliz menor renal *(v. figura 26.6)*.
9. En torno al 85% de las nefronas son **nefronas corticales,** que se encuentran en la corteza. Sus asas de Henle son cortas y, en ellas, las arteriolas aferentes aportan sangre a los **capilares peritubulares** que rodean los túbulos renales. Las **nefronas yuxtamedulares** están más próximas a la médula, y sus asas se expanden en profundidad en las pirámides renales *(v. figuras 26.4c,d/26.7a)*.
10. Las nefronas son responsables de: 1) la producción de filtrado; 2) la reabsorción de nutrientes orgánicos, y 3) la reabsorción de agua e iones. El **epitelio parietal** reviste la pared externa del corpúsculo renal. La sangre llega a través de la **arteriola aferente,** relativamente ancha, y sale por la **arteriola eferente,** más estrecha *(v. figura 26.8c)*.
11. El corpúsculo renal contiene el nudo capilar del **glomérulo** y la **cápsula glomerular.** En el glomérulo, los **podocitos** del epitelio visceral arrollan sus «pies» en torno a los capilares. Las **prolongaciones secundarias** de los podocitos están separadas por finas **hendiduras de filtración.** El **espacio capsular** separa los epitelios **parietal** y **visceral.** Los capilares glomerulares son *fenestrados* y la capa densa de la lámina basal es inusualmente gruesa. La sangre llega al **polo vascular** del corpúsculo renal a través de la arteriola aferente y sale por la **arteriola eferente.** De ella pasa a los capilares peritubulares y a los **vasos rectos,** que son la prolongación de de las asas de Henle en la médula *(v. figura 26.8)*.
12. El **TCP** reabsorbe activamente nutrientes, iones, proteínas plasmáticas y electrólitos del líquido tubular. El asa de Henle incluye una **rama descendente** y una **rama ascendente.** Cada una de ellas contiene un **segmento grueso** y un **segmento fino.** La rama ascendente libera líquido al TCD, que secreta activamente iones y reabsorbe sodio de la orina. La reabsorción en el TCP y en el asa recupera todos los nutrientes orgánicos, el 85% del agua y más del 90% de los iones de Na y Cl *(v. figuras 26.6 a 26.8)*.
13. El **TCD** es una importante localización para la secreción de iones y otros materiales y para la reabsorción de sodio *(v. figura 26.6 a 26.8)*.
14. El **complejo yuxtaglomerular** *(aparato yuxtaglomerular)* está integrado por la **mácula densa,** las **células yuxtaglomerulares** y las **células mesangiales extraglomerulares.** Dicho complejo secreta las hormonas *renina* y *eritropoyetina (v. figura 26.8c)*.
15. El TDC se abre al **sistema colector,** integrado por los *túbulos colectores,* los *conductos colectores* y los *conductos papilares*. Además del transporte de líquido de la nefrona a la pelvis renal, el sistema colector ajusta las concentraciones osmóticas y el volumen *(v. figuras 26.6 y 26.7a,d,e,f)*.

Estructuras para el transporte, el almacenamiento y la eliminación de la orina 704

1. La modificación del líquido tubular y la producción de orina terminan cuando el líquido entra en el cáliz menor en el seno renal. El resto del aparato urinario (los *uréteres*, la *vejiga urinaria* y la *uretra)* es responsable del transporte, almacenamiento y eliminación de orina *(v. figura 26.10)*.

Uréteres 704

2. Los uréteres se extienden de la pelvis renal a la vejiga urinaria y se encargan del transporte de la orina a esta. La pared de cada uréter consta de una capa mucosa interna, una muscular intermedia y una de tejido conjuntivo externa (adventicia) *(v. figuras 26.1/26.2/26.3/26.9c/26.10)*.

Vejiga urinaria 704

3. La **vejiga urinaria** es un órgano muscular hueco que sirve como reservorio de almacenamiento de orina. Es estabilizada por el **ligamento umbilical medio** y los **ligamentos umbilicales laterales.** Entre sus estructuras internas se cuentan el **trígono,** el **cuello** y el **esfínter uretral interno.** El revestimiento mucoso contiene prominentes **pliegues.** La contracción del **músculo detrusor** comprime la vejiga e impulsa la orina hacia la uretra *(v. figuras 26.10/26.11)*.

Uretra 706

4. La uretra se extiende desde el cuello de la vejiga urinaria hasta el exterior. En la mujer, es corta y termina en el **orificio uretral externo,** y en el varón presenta porciones **prostática**, **membranosa** y **peneana.** La uretra esponjosa termina en el orificio uretral externo. En ambos sexos, cuando la uretra atraviesa el diafragma urogenital, una banda circular de músculos estriados forma el **esfínter uretral externo,** de control voluntario.
5. El revestimiento de la uretra femenina suele ser un epitelio de transición próximo a la vejiga urinaria; el resto es en general epitelio escamoso estratificado. En varones el revestimiento varía de un epitelio de transición en la vejiga urinaria a uno columnar estratificado o seudoestratificado, y, posteriormente, a un epitelio escamoso estratificado, cerca del orificio uretral externo *(v. figuras 6.6 y 26.10/26.11)*.

Reflejo de micción y evacuación de la orina 708

6. La evacuación de la orina es coordinada por el **reflejo de micción,** iniciado por los receptores de tensión de la pared de la vejiga. La micción voluntaria implica la combinación de dicho reflejo con la relajación del esfínter uretral externo.

Envejecimiento y aparato urinario 708

1. El envejecimiento se suele asociar a aumento de problemas renales. Los cambios urinarios relacionados con la edad incluyen: 1) reducción del número de nefronas funcionales; 2) disminución de la filtración glomerular; 3) menor sensibilidad a la ADH, y 4) problemas en el reflejo de micción (al hipertrofiarse la glándula prostática puede producirse **retención de orina**).

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. micción	a. músculo de la vejiga urinaria
___ 2. músculo detrusor	b. unidad funcional básica del riñón
___ 3. mácula densa	c. evacuación de orina
___ 4. médula	d. túnica fibrosa del riñón
___ 5. hilio	e. piedras en el riñón
___ 6. nefrona	f. contiene 6-18 pirámides renales
___ 7. cálculos	g. capa externa densa del riñón
___ 8. vasos rectos	h. serie de capilares
___ 9. cápsula fibrosa	i. región del complejo yuxtaglomerular
___10. fascia renal	j. punto de entrada/salida de la arteria y la vena renales

11. Cada riñón es protegido/estabilizado por:
    (a) la cápsula fibrosa solamente
    (b) la grasa perirrenal y la cápsula fibrosa solamente
    (c) la grasa perirrenal solamente
    (d) la cápsula fibrosa, la grasa perirrenal y la fascia renal

12. El aparato urinario realiza todas las funciones siguientes excepto:
    (a) secretar el exceso de moléculas de glucosa
    (b) regular el volumen sanguíneo
    (c) contribuir a estabilizar el pH sanguíneo
    (d) eliminar los productos orgánicos

13. El seno renal es:
    (a) la capa más interna del tejido renal
    (b) una estructura cónica localizada en la médula renal
    (c) una cavidad interna revestida por la cápsula fibrosa y situada en el interior del hilio
    (d) una amplia rama de la pelvis renal

14. ¿Qué vasos forman el plexo que irriga los túbulos contorneados proximal y distal?
    (a) arterias de los segmentos del riñón
    (b) capilares peritubulares
    (c) arterias interlobulillares
    (d) arterias arciformes

15. El proceso de filtración tiene lugar en:
    (a) el túbulo contorneado proximal
    (b) el corpúsculo renal
    (c) el conducto colector
    (d) el asa de Henle

16. La capacidad para formar orina concentrada depende de las funciones del:
    (a) túbulo contorneado proximal
    (b) túbulo contorneado distal
    (c) conducto colector
    (d) asa de Henle

17. Los uréteres y la vejiga urinaria están revestidos por el epitelio _____.
    (a) escamoso estratificado
    (b) cilíndrico seudoestratificado
    (c) cúbico simple
    (d) de transición

18. Cada uno de los siguientes es un componente normal de la orina excepto:
    (a) iones hidrógeno
    (b) urea
    (c) proteínas grandes
    (d) sales

19. El ligamento que se extiende del límite anterior y posterior de la vejiga urinaria al ombligo es el ligamento:
    (a) redondo
    (b) cuadrado
    (c) umbilical medio
    (d) ligamentos umbilicales laterales

20. La porción de nefrona que se une al conducto colector es el:
    (a) asa de Henle
    (b) túbulo contorneado proximal
    (c) túbulo contorneado distal
    (d) conducto colector

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Qué significa que los orificios de entrada de los uréteres en la vejiga tengan forma de hendidura en vez de redondeada?
    (a) que pueden cambiar de forma para permitir que la orina entre y salga
    (b) esta forma previene el flujo retrógrado a los uréteres cuando la vejiga se contrae
    (c) el orificio queda comprimido entre los ligamentos umbilicales medio y lateral porque estas estructuras sostienen esta parte del uréter
    (d) no tiene un significado especial; se debe sólo a la posición

2. Entre los problemas del reflejo de micción en personas ancianas se cuentan
   (a) aumento del tono de los músculos esfinterianos, que dificulta el vaciamiento de la vejiga urinaria
   (b) retención urinaria en varones, por hipertrofia de la próstata
   (c) aumento de la sensibilidad a la ADH
   (d) aumento de la retención de iones sodio

3. ¿Cómo se ve alterada la función renal en una persona que tiene más de una arteria y una vena renales en cada lado, con el mismo volumen total e de espacio luminal que entra en el riñón por el hilio?
   (a) los riñones pueden adaptarse a la sangre a mayor presión en estas personas que en otras
   (b) si las arterias y venas son normales, la función renal será normal
   (c) el flujo sanguíneo que atraviesa estos riñones es mayor
   (d) estos riñones son más flexibles en lo que respecta a la cantidad de orina producida

4. ¿Dónde se localiza el glomérulo en una nefrona?

5. ¿Qué característica singular presenta el epitelio glomerular?

6. ¿Qué secreta el complejo yuxtaglomerular?

7. ¿Qué es el trígono de la vejiga urinaria?

8. ¿Qué esfínter uretral presenta control voluntario?

9. ¿Cuál es la principal función del túbulo contorneado proximal?

10. Identifique el propósito de los pliegues en la vejiga urinaria.

Nivel 3 Pensamiento crítico

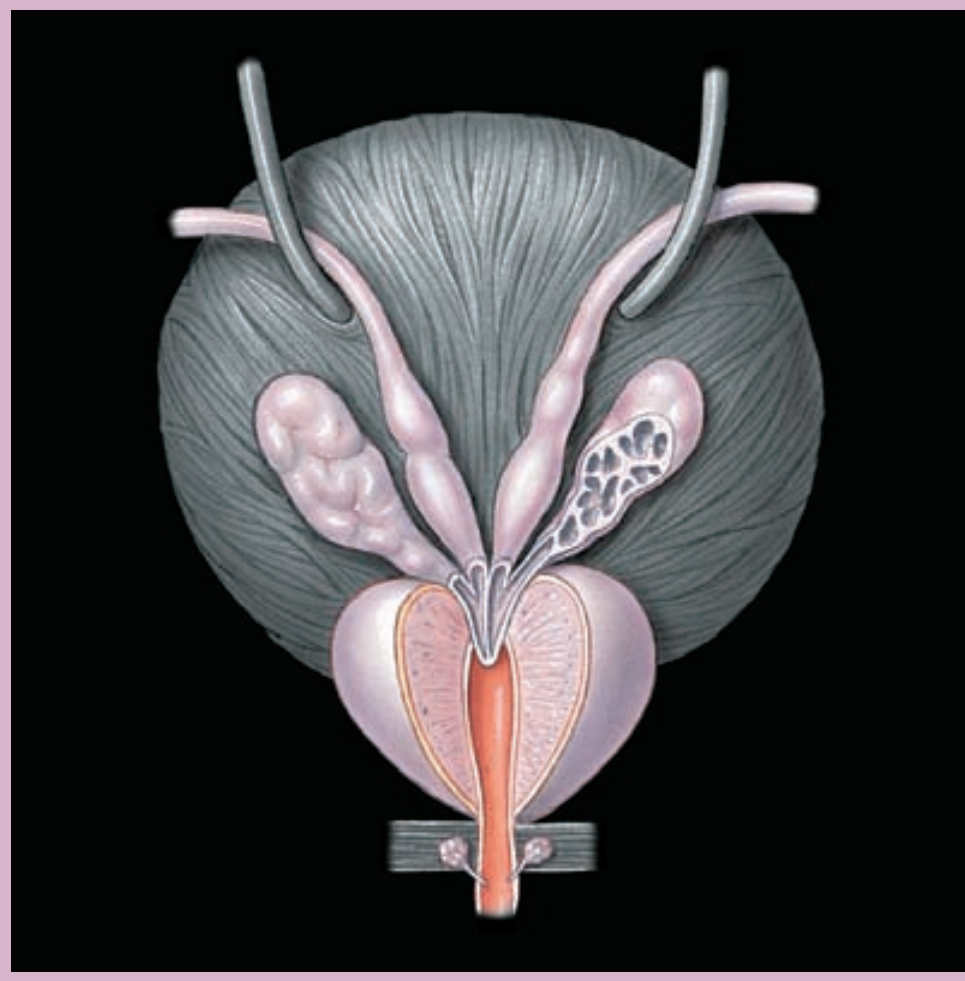
1. Aunque el control neural del esfínter uretral externo no se desarrolla del todo hasta los 2-3 años, el esfínter uretral interno es funcional desde el nacimiento. ¿Por qué la enseñanza del control de esfínteres resulta a menudo una experiencia frustrante y sin resultado para niños o padres?

2. Jennifer fue corredora de maratón profesional hasta que una insuficiencia renal la obligó a retirarse. En las dos últimas carreras en las que participó, las pruebas de laboratorio confirmaron que presentaba una disfunción renal aguda. ¿Cómo pueden las carreras de larga distancia causar esta alteración?

3. ¿Por qué necesitan las mujeres orinar con más frecuencia cuando están embarazadas?

27

Aparato reproductor



Introducción 715

Organización del aparato reproductor 715

Anatomía del aparato reproductor masculino 715

Anatomía del aparato reproductor femenino 727

Envejecimiento y aparato reproductor 741

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir la función del aparato reproductor.
2. Describir y comparar la organización general de los aparatos reproductores masculino y femenino.
3. Identificar y describir la localización, la anatomía macroscópica y las funciones de las principales estructuras del aparato reproductor masculino.
4. Describir los rasgos histológicos de las gónadas, los conductos y las glándulas accesorias del aparato reproductor masculino.
5. Diferenciar la espermatogenia de la espermiogenia y describir el almacenamiento y el transporte de espermatozoides.
6. Enumerar los componentes y las características del semen.
7. Diferenciar los procesos fisiológicos de erección, emisión y eyaculación.
8. Identificar y describir la localización, la anatomía macroscópica y las funciones de las principales estructuras del aparato reproductor femenino.
9. Describir los rasgos histológicos de las gónadas, los conductos y las glándulas accesorias del aparato reproductor femenino.
10. Describir los cambios que registra el endometrio durante el ciclo uterino.
11. Comentar la ovogenia y la ovulación y detallar el recorrido de los ovocitos después de la ovulación.
12. Describir los ciclos ováricos y uterinos e identificar las hormonas encargadas de regularlos y coordinarlos.
13. Describir la anatomía macroscópica y la histología de las glándulas mamarias.
14. Describir los cambios anatómicos y endocrinos que acompañan al embarazo.
15. Comparar los cambios que se observan en los aparatos reproductores masculino y femenino conforme envejece el organismo.

La duración de la vida de una persona se puede medir en décadas, si bien la especie humana ha sobrevivido varios millones de años a través de la actividad del aparato reproductor. El aparato reproductor del ser humano produce, almacena, alimenta y transporta a las células reproductoras funcionales masculinas y femeninas, o **gametos.** La combinación del material genético presente en el **espermatozoide** paterno y el **óvulo** materno inmaduro sucede poco tiempo después de la **fecundación** o *concepción*. La fecundación da lugar a un **cigoto,** una célula única que crecerá, se desarrollará y dividirá muchas veces durante unos 9 meses para dar lugar a un lactante que crecerá y madurará junto a los demás niños de la siguiente generación. De igual modo, el aparato reproductor fabrica hormonas sexuales que influyen en la estructura y el funcionamiento de los demás sistemas orgánicos.

Este capítulo se ocupa de las estructuras y los mecanismos que participan en la producción y el mantenimiento de los gametos y, en la mujer, el desarrollo y el soporte del embrión y el feto en desarrollo. El último capítulo de esta obra, el capítulo 28, aborda inicialmente la fecundación para después tratar el proceso de desarrollo.

Organización del aparato reproductor

El aparato reproductor o genital se compone de los siguientes elementos:

- Órganos reproductores, o **gónadas,** que producen gametos y hormonas.
- Un tubo reproductor, formado por conductos que reciben, almacenan y transportan los gametos.
- Glándulas y órganos accesorios que secretan líquidos a los conductos del aparato genital u otros conductos excretores.
- Estructuras perineales asociadas al aparato reproductor y cuyo conjunto recibe el nombre de **genitales externos**.

Los aparatos reproductores masculino y femenino presentan importantes diferencias funcionales. En un hombre adulto, las gónadas, conocidas como *testículos*, secretan unas hormonas sexuales denominadas *andrógenos*, principalmente *testosterona*, y producen diariamente alrededor de medio millón de espermatozoides [p. 520]. Los espermatozoides maduros almacenados recorren un largo sistema de conductos en el que se incorporan a las secreciones de las glándulas accesorias para formar la mezcla conocida como *semen*. El semen se expulsa del organismo durante la *eyaculación*.

En la mujer adulta, las gónadas, u *ovarios*, suelen producir solamente un gameto inmaduro, u *ovocito*, cada mes. El ovocito viaja a través de los cortos tubos uterinos (oviductos) que desembocan en el *útero* muscular. La vagina, un pasadizo de corta longitud, conecta el útero con el exterior. Durante el coito, la eyaculación masculina introduce semen en la vagina, de modo que los espermatozoides pueden ascender a lo largo del tubo reproductor femenino hasta encontrar un ovocito y fecundarlo.

Anatomía del aparato reproductor masculino [v. figura 27.1]

La figura 27.1 muestra las principales estructuras del aparato reproductor masculino. Los espermatozoides salen de los testículos y se desplazan a lo largo de un sistema de conductos, del que forman parte el *epidídimo*, el *conducto deferente*, el *conducto eyaculador* y la *uretra*, hasta ser expulsados del organismo. Los órganos accesorios, en especial las *glándulas seminales*, la *próstata* y las *glándulas bulbouretrales*, liberan secreciones a los conductos eyaculadores y la uretra. Los genitales externos incluyen el *escroto*, el cual rodea a los testículos, y el *pene*, un órgano eréctil que contiene la porción distal de la uretra.

Testículos [v. figuras 27.1/27.3]

La morfología del testículo es similar a la de un huevo aplanado de unos 5 cm de longitud, 3 cm de anchura y 2,5 cm de grosor. El peso de cada uno de ellos es de 10 a 15 g. Los testículos se encuentran suspendidos en el interior del **escroto,** una bolsa de piel que pende por debajo del perineo en posición anterior al ano. Obsérvense la localización y la relación de los testículos en un corte sagital (v. figura 27.1) y frontal (v. figura 27.3).

Descenso de los testículos [v. figura 27.2]

Los testículos se forman en la cavidad corporal adyacente a los riñones a lo largo del proceso de desarrollo. Las posiciones relativas de estos órganos se modifican conforme aumenta el tamaño del feto, de modo que se produce un movimiento gradual de los testículos en sentido inferior y anterior hacia la pared abdominal anterior. El **gubernáculo testicular** es un cordón de tejido conjuntivo y fibras musculares que se extiende desde la parte inferior de cada testículo hasta la pared posterior de un pequeño bolsillo inferior del peritoneo. Conforme avanza la organogenia, los gubernáculos no se elongan y los testículos se mantienen en esa localización (v. figura 27.2). Durante el séptimo mes: 1) el feto continúa creciendo a un ritmo rápido, y 2) las hormonas circulantes estimulan la contracción del gubernáculo testicular. La posición relativa de los testículos se modifica nuevamente a lo largo de esta fase y se desplazan en la musculatura abdominal junto a dos pequeños bolsillos procedentes de la cavidad peritoneal, lo que recibe el nombre de **descenso de los testículos.**

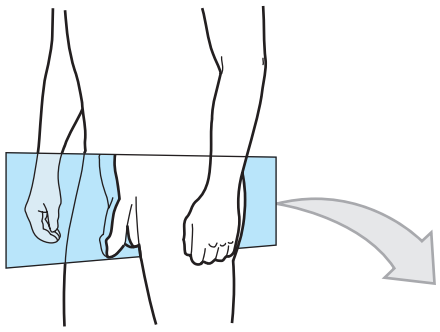
Conforme se desplaza a lo largo de la pared abdominal, cada testículo se acompaña del conducto deferente, los vasos sanguíneos, los nervios y los vasos linfáticos testiculares. Tras su descenso, los conductos, los vasos sanguíneos, los nervios y los vasos linfáticos conforman los *cordones espermáticos*.

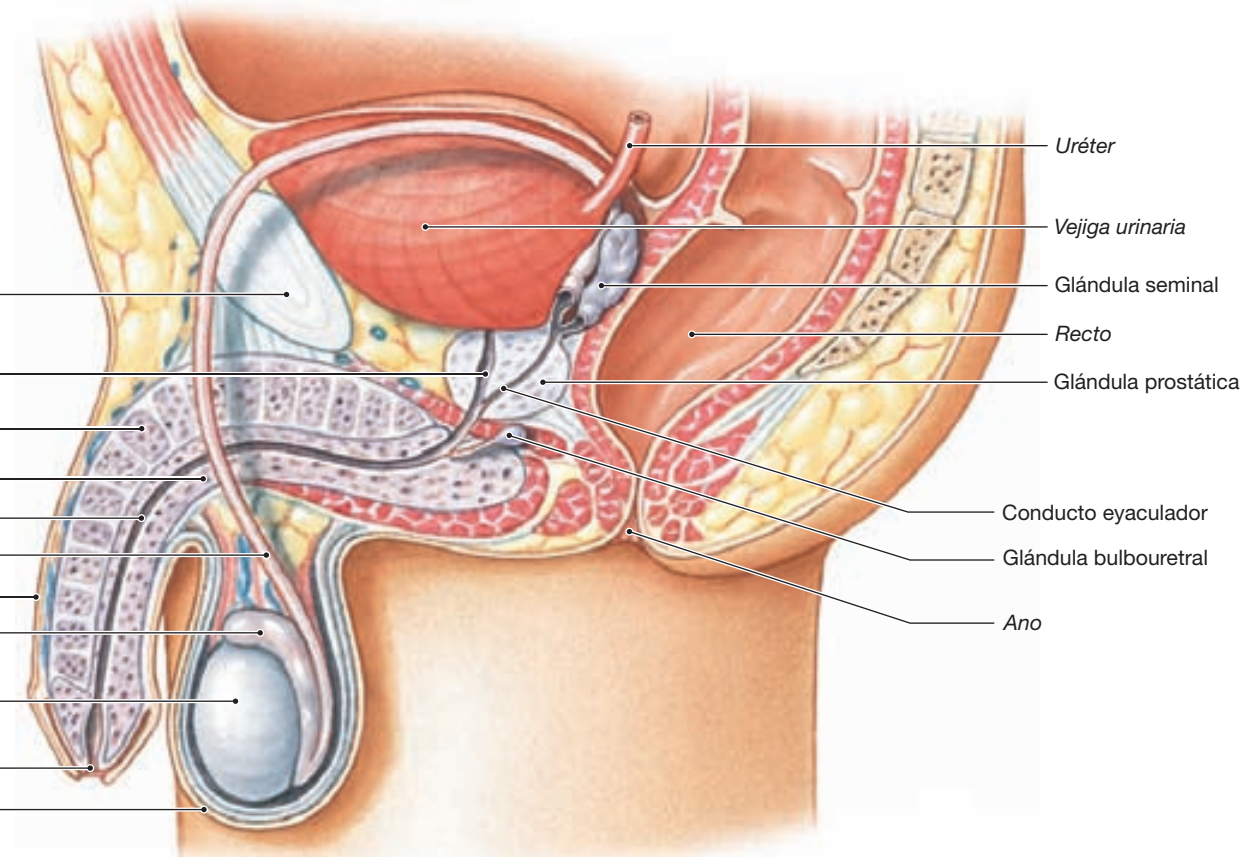
Cordones espermáticos [v. figura 27.3]

Los **cordones espermáticos** se componen de varias capas de fascia, tejido conjuntivo denso y músculo que circundan a los vasos sanguíneos, los nervios y los vasos linfáticos que irrigan a los testículos. Cada cordón espermático nace en el *anillo inguinal profundo,* se extiende a lo largo del conducto inguinal, sale a través del *anillo inguinal superficial* y desciende hacia los testículos suspendidos en el escroto (v. figura 27.3). Los cordones espermáticos se forman durante el proceso de descenso de los testículos. Cada cordón contiene el conducto deferente, la **arteria testicular**, el **plexo pampiniforme** (*pampinus*, zarcillo + *forma*, forma) de la **vena testicular,** y los **nervios ilioinguinal** y **genitofemoral** del plexo lumbar [pp. 378, 590].

Los canales estrechos que unen las cámaras escrotales con la cavidad peritoneal reciben el nombre de **conductos inguinales.** Aunque estos conductos suelen cerrarse, la persistencia de los cordones espermáticos crea puntos débiles en la pared abdominal que se conservan durante toda la vida, como consecuencia de lo cual las *hernias inguinales,* recogidas en el capítulo 10, son un problema relativamente frecuente en el hombre [p. 281]. En la mujer, el tamaño de los conductos inguinales es muy pequeño, de modo que solamente contienen los nervios ilioinguinales y el ligamento redondo del útero. La integridad de la pared abdominal es casi total, por lo que las hernias inguinales suponen un hallazgo infrecuente en la mujer.

El escroto y la posición de los testículos [v. figuras 27.3/27.4a] El escroto se divide internamente en dos cavidades independientes. La división existente entre ambas se manifiesta en su superficie externa por medio de un engrosamiento elevado de la misma, una continuación del **rafe perineal** que se prolonga en la línea media del perineo desde el ano, a través del escroto y a lo largo de la superficie anterior del pene (v. figuras 27.3 y 27.4a). Cada testículo se encuentra en un compartimento independiente, o **cavidad escrotal,** en la que la separación entre la superficie interna del escroto y la superficie externa del testículo es muy estrecha. La **túnica vaginal** del testículo es una membrana serosa que recubre la superficie externa de cada testículo, reviste la cavidad escrotal y reduce la fricción existente entre las superficies opuestas.





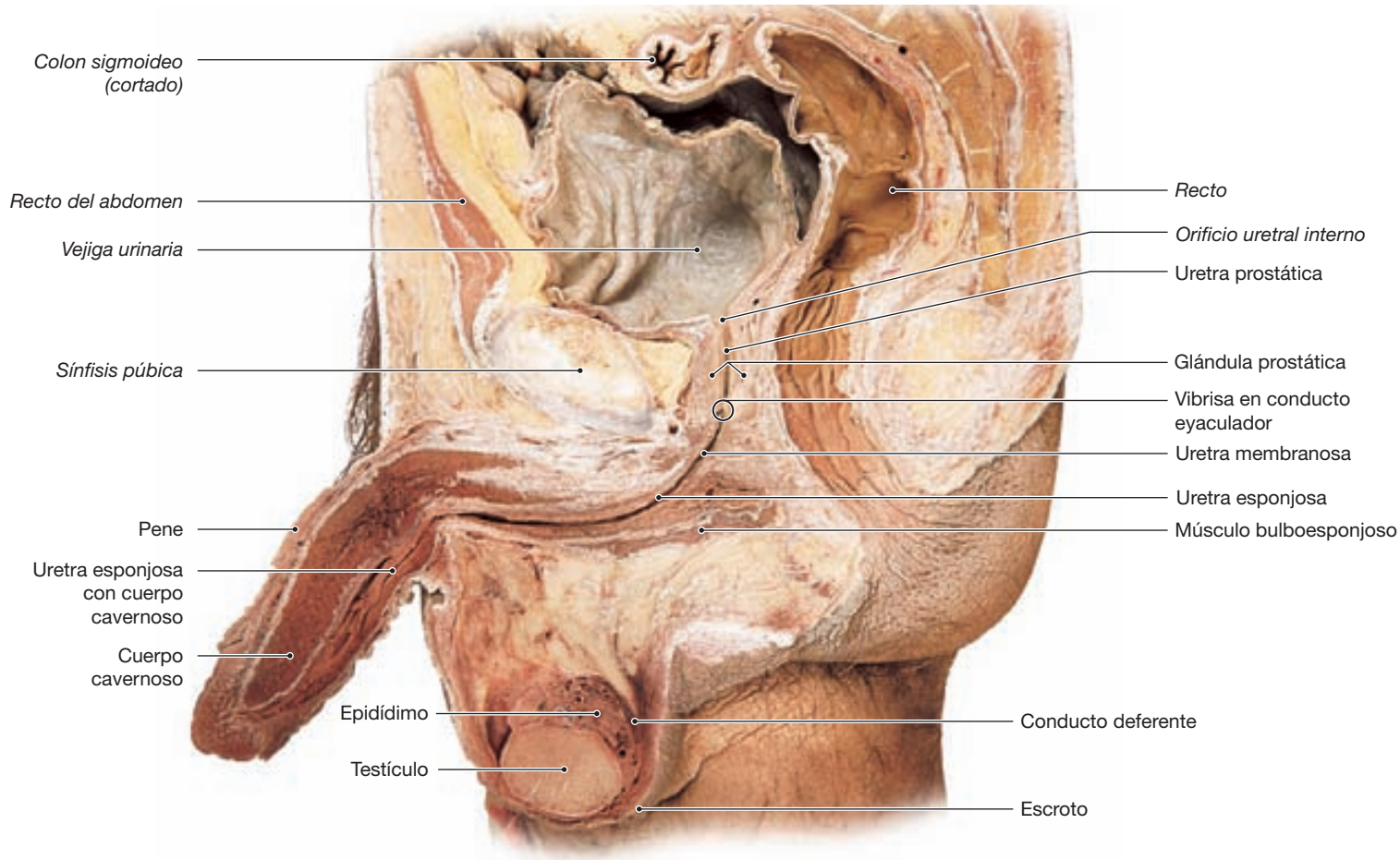


Figura 27.1 Aparato reproductor masculino, parte I
Corte sagital del aparato genital masculino. En el dibujo se pueden observar varios órganos intactos en el lado izquierdo, lo que le permitirá interpretar la imagen de corte de cadáver.

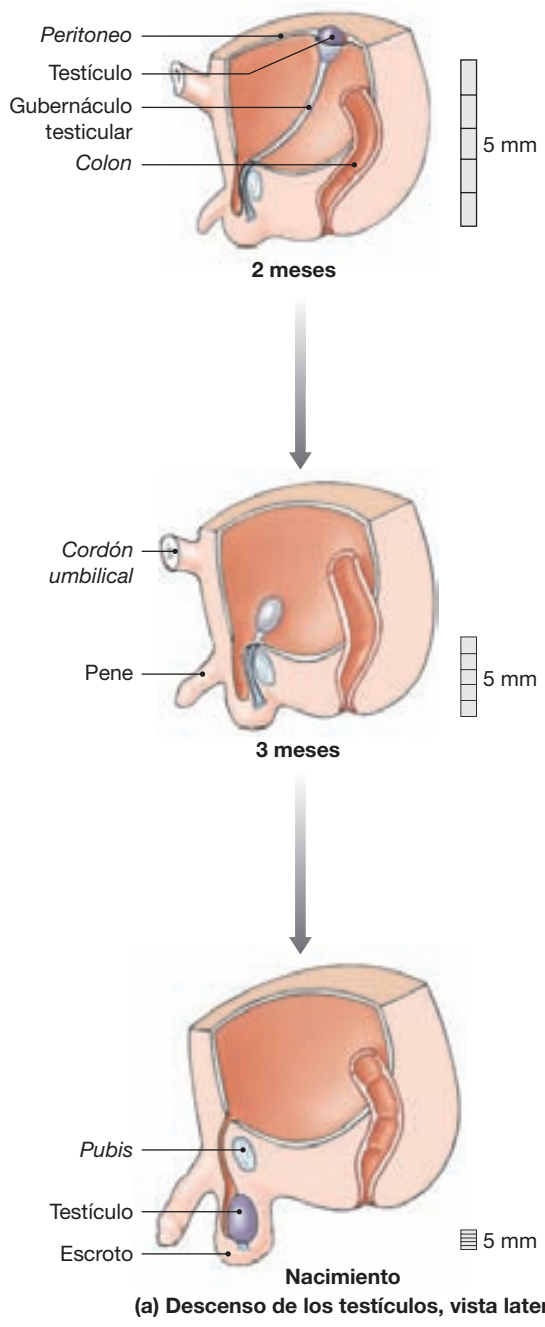


Figura 27.2 Descenso de los testículos
(a) Cortes esquemáticos. Obsérvese la barra de escala situada a la derecha de cada imagen. **(b)** Vista anterior del abdomen abierto en etapas representativas del descenso de los testículos.

El escroto se compone de una delgada capa de piel y las fascias superficiales subyacentes. La dermis del escroto engloba una capa de músculo liso, el **músculo dartos,** cuya contracción tónica es responsable del aspecto arrugado de la superficie escrotal y favorece la elevación de los testículos. Por debajo de la dermis se encuentra una capa de músculo estriado, el **músculo cremáster,** que se contrae para tensar el escroto y acercar los testículos al organismo. El *reflejo cremastérico* controla estas contracciones. La contracción tiene lugar durante la excitación sexual o bien como respuesta a cambios térmicos. El desarrollo normal de los espermatozoides en los testículos se produce a temperaturas 1,1 °C más bajas que las del resto del organismo. El músculo cremáster acerca o aleja los testículos del organismo para mantener unas temperaturas testiculares adecuadas. Este músculo se relaja con el fin de alejar a los testículos del organismo cuando se eleva la temperatura ambiental o corporal. El enfriamiento del escroto, como se observa al entrar en contacto con una

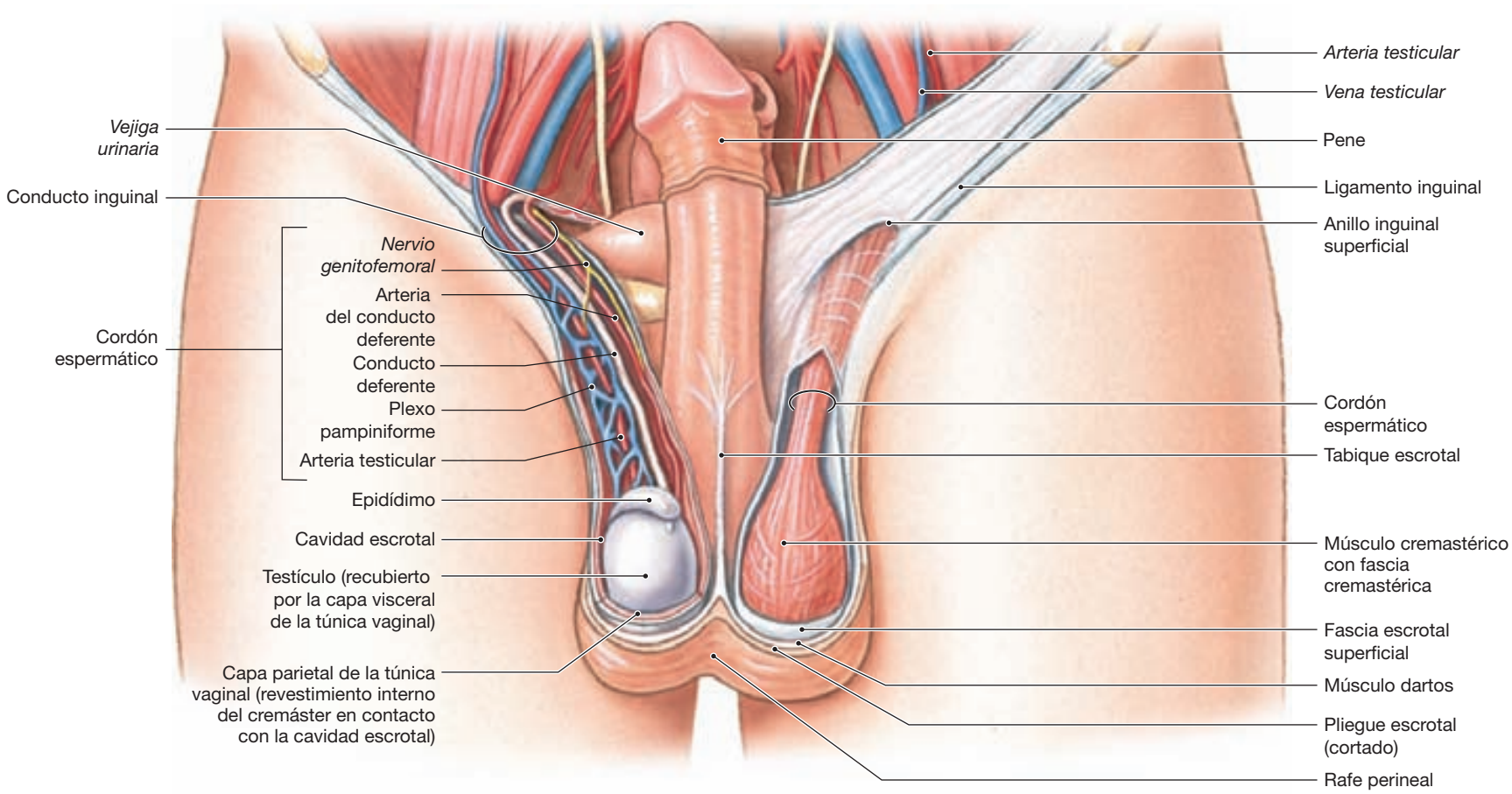


Figura 27.3 Aparato reproductor masculino, parte II
Vista esquemática de las gónadas, los genitales externos y las estructuras asociadas en el hombre.

piscina fría, pone en marcha el reflejo cremastérico, de tal forma que las contracciones cremastéricas acercan los testículos al organismo e impiden el descenso de las temperaturas testiculares.

El escroto recibe una rica inervación de nervios sensoriales y motores pertenecientes al *plexo hipogástrico* y ramificaciones de los *nervios inguinales,* los *nervios genitofemorales* y los *nervios pudendos* [p. 378]. La irrigación vascular del escroto engloba las **arterias pudendas internas** (irrigadas por las arterias ilíacas internas), las **arterias pudendas externas** (irrigadas por las arterias femorales) y la rama cremastérica de las **arterias epigástricas inferiores** (irrigadas por las arterias ilíacas externas) [p. 591]. Los nombres y las distribuciones de las venas remedan los de las arterias.

Estructura testicular [v. figura 27.4]

La **túnica albugínea** es una densa capa fibrosa que rodea a los testículos y se encuentra recubierta por la túnica vaginal. Esta cápsula fibrosa contiene abundantes fibras de colágeno que se continúan con las del epidídimo adyacente. De igual modo, estas fibras se prolongan hacia el interior de los testículos para dar lugar a divisiones fibrosas o *tabiques* (v. figura 27.4). Estos tabiques confluyen en el **mediastino** testicular, el cual sostiene a los vasos sanguíneos y linfáticos que irrigan el testículo y los conductos que recogen y transportan los espermatozoides hacia el epidídimo.

Histología testicular [v. figuras 27.4/27.5c,d/27.7a]

Los tabiques dividen a los testículos en dos compartimentos conocidos como **lóbulos,** los cuales contienen unos 800 túbulos **seminíferos** delgados y muy enrollados (v. figura 27.4). La longitud de cada uno de estos **túbulos** se acerca a 80 cm y un testículo normal suele contener casi medio centenar de túbulos seminíferos. La producción de los espermatozoides tiene lugar en el interior de estas estructuras.

Cada túbulo seminífero tiene forma de U y está conectado a un **túbulo recto** que pasa al mediastino testicular (v. figuras 27.4a y 27.7a), donde se conectan entre sí y forman un laberinto de vías conocido como **red testicular.** La red testicular se conecta con el epidídimo a través de 15 a 20 **conductillos eferentes** de gran calibre.

Los túbulos seminíferos se encuentran muy enrollados, por lo que las preparaciones histológicas suelen corresponder a un corte transversal. Cada túbulo se rodea de una delgada cápsula y los espacios que separan a los túbulos se rellenan de tejido conjuntivo laxo. Estos espacios contienen también numerosos vasos sanguíneos y **células intersticiales** de gran tamaño *(células intersticiales de Leydig)* (v. figura 27.5c,d). Las células intersticiales sintetizan hormonas sexuales masculinas, que reciben el nombre de *andrógenos* [p. 520]. La *testosterona* constituye el andrógeno más importante y desarrolla las siguientes funciones: 1) estimulación de la espermatogenia; 2) promoción de la maduración física y funcional de los espermatozoides; 3) mantenimiento de los órganos accesorios del aparato genital masculino; 4) desarrollo de los caracteres sexuales secundarios mediante su efecto en el desarrollo y la maduración de estructuras no reproductoras, como la distribución del vello facial y el tejido adiposo, la masa muscular y el tamaño corporal total; 5) estimulación del crecimiento y el metabolismo de todo el organismo, y 6) influencia en el desarrollo cerebral a través de la estimulación de conductas sexuales y el instinto sexual.

Espermatogenia y meiosis [v. figura 27.5]

Las células sexuales, o espermatozoides, se producen durante la **espermatogenia.** Este proceso comienza en la capa celular más externa de los túbulos seminíferos. Durante el desarrollo embrionario se forman las células conocidas como **espermatogonias,** que se mantienen en estado de latencia hasta la puber-

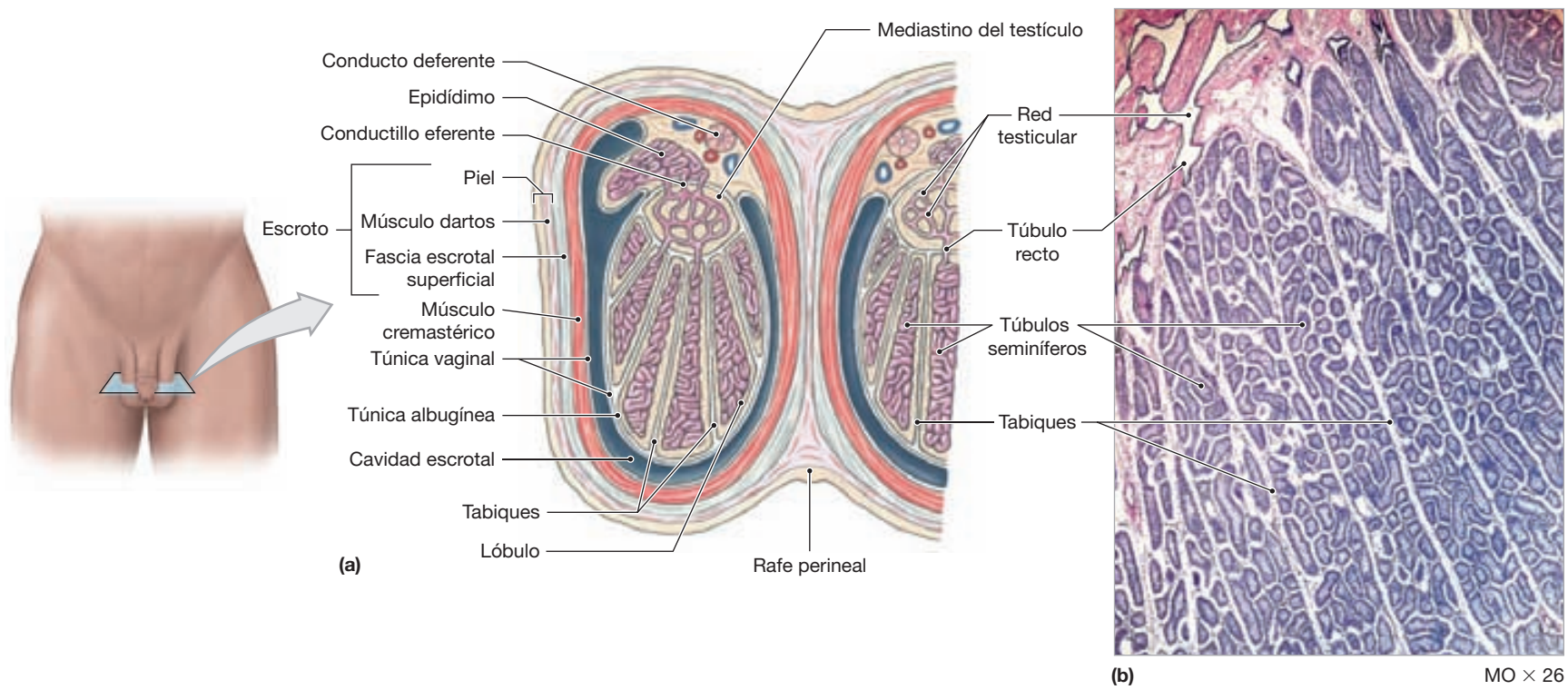


Figura 27.4 Estructura testicular
(a) Vista esquemática horizontal que muestra las relaciones anatómicas del testículo en la cavidad escrotal. No se representan los tejidos conjuntivos que rodean a los túbulos seminíferos ni red testicular. **(b)** Vista histológica general de los tabiques que separan los túbulos seminíferos.

tad. A partir del momento de la maduración sexual, las espermatogonias se dividirán durante el resto de la vida reproductiva del sujeto. En cada división, una de las células hija permanece en la capa externa del túbulo seminífero en forma de célula madre indiferenciada, mientras que la otra pasa a la luz de dicho conducto. Esta última se diferencia para dar lugar a un **espermatocito primario** que pronto sufrirá el proceso de **meiosis,** una forma de división celular que origina gametos que contienen la mitad del número normal de cromosomas. Los gametos son **haploides** (*haplo*, sencillo) debido a que contienen solamente un componente de cada pareja de cromosomas.

La meiosis representa una variante especial de la división celular que produce gametos. Los acontecimientos que tienen lugar en el núcleo presentan diferencias significativas en la mitosis y la meiosis. En el primer proceso se lleva a cabo una única división que genera dos células hijas idénticas, cada una de las cuales contiene 23 parejas de cromosomas. En la meiosis, dos divisiones dan lugar a cuatro gametos haploides diferentes, cada uno de los cuales posee 23 cromosomas.

En el testículo, la primera etapa de la meiosis es la división de un espermatocito primario en dos **espermatocitos secundarios.** Cada uno de estos se divide para originar una pareja de **espermátidas.** De este modo, se generan cuatro espermátidas a partir de cada espermatocito primario que se somete a la meiosis (v. figura 2.5a,b). En la figura 27.5c,d se muestran las espermatogonias, los espermatocitos sometidos a la meiosis y las espermátidas.

La testosterona estimula de manera directa la espermatogenia, mientras que la hormona FSH (folitropina) ejerce una estimulación indirecta, como se comentará en breve. Las células intersticiales del testículo sintetizan testosterona como respuesta a la LH (luteotropina) [p. 520].

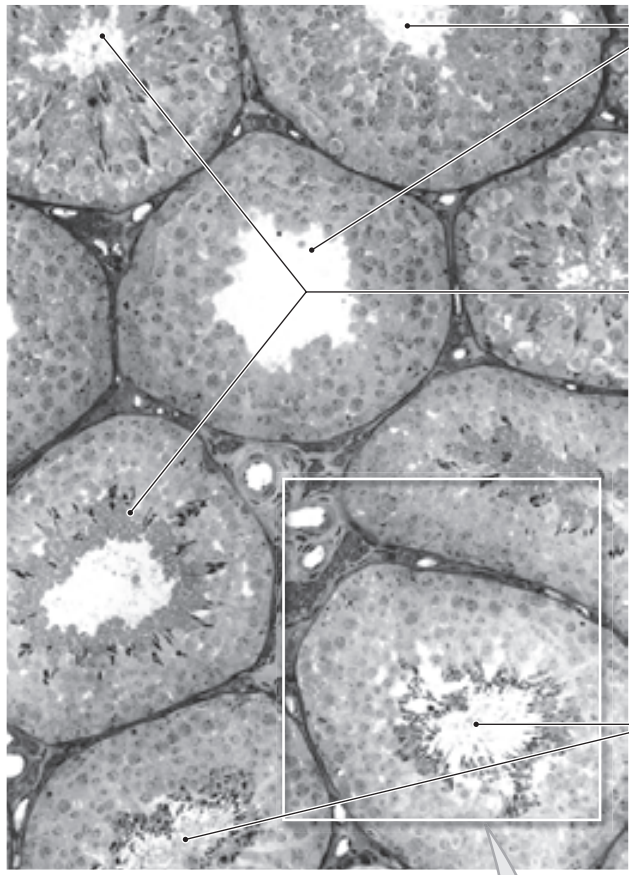
Espermiogenia [v. figura 27.5b-d]

Cada espermátida da lugar a un **espermatozoide,** o célula espermática, a través de un proceso de maduración conocido como **espermiogenia** (v. figura 27.5b-d). A lo largo de este proceso, las espermátidas se alojan en el citoplasma de **células nodrizas** de gran tamaño *(células de Sertoli)*. Estas células están ancladas a la lámina basal de la cápsula de los túbulos y se extienden hacia la luz entre los espermatocitos sometidos a meiosis. Las espermátidas adquieren de manera paulatina el aspecto de los espermatozoides maduros conforme avanza la espermiogenia. El espermatozoide se libera de la célula nodriza para ingresar en la luz del túbulo seminífero mediante el proceso conocido como *espermiación*, la cual pone punto final a la espermiogenia. El proceso total comprendido desde la división de las espermatogonias hasta la espermiación requiere unas 9 semanas.

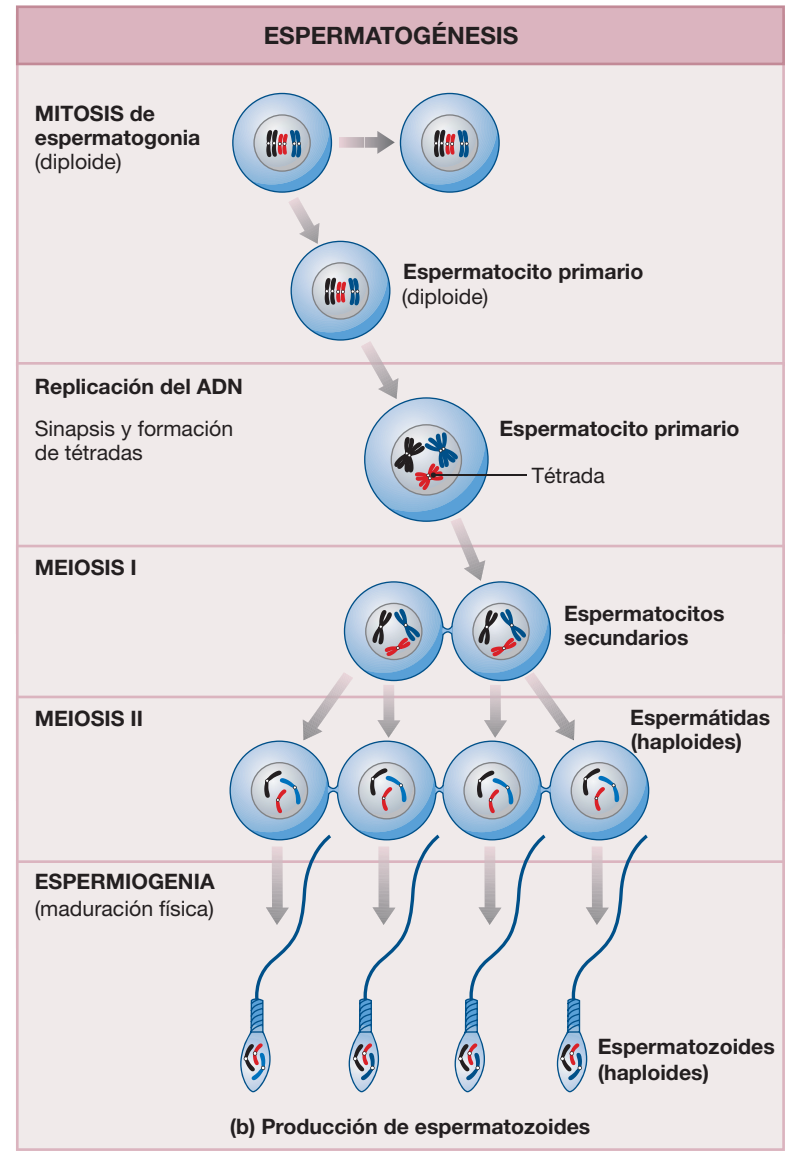
Células nodrizas [v. figura 27.5c,d]

Las células nodrizas desempeñan cinco destacadas funciones:

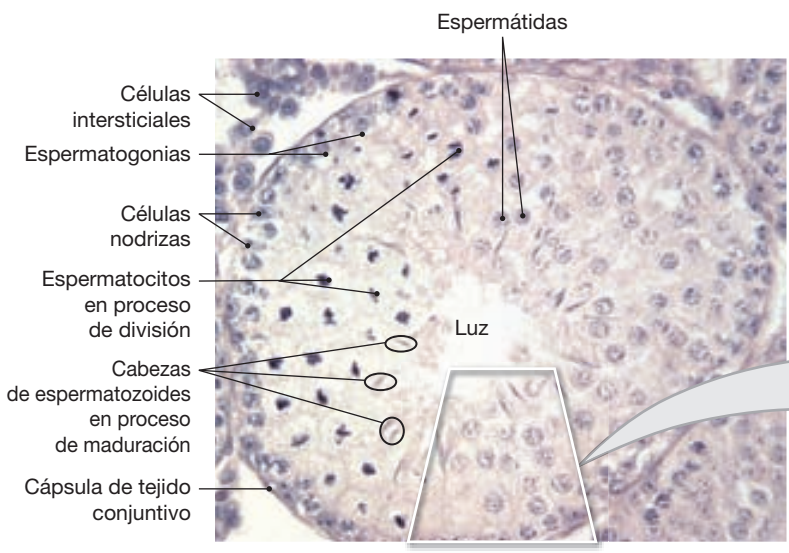
1. *Mantenimiento de la barrera hematotesticular:* una **barrera hematotesticular,** comparable a la barrera hematoencefálica, separa a los túbulos seminíferos de la circulación general (v. figura 27.5c,d) [p. 391]. La porción luminal del túbulo seminífero se separa del líquido intersticial en el que está inmersa por medio de zonas de unión intercelular hermética formadas entre las extensiones de las células nodrizas. El transporte de sustancias a través de las células nodrizas está sometido a una estricta regulación, de modo que el entorno que circunda a los espermatocitos y las espermátidas se mantiene estable. La luz del túbulo seminífero contiene un líquido de composición muy distinta a la del líquido intersticial, ya que es rico en andrógenos, estrógenos, potasio y aminoácidos. La existencia de una barrera hematotesticular es imprescindible para el mantenimiento de estas diferencias. Por otra parte, las membranas celulares de los espermatozoides en desarrollo poseen antígenos específicos de espermatozoides que no se encuentran en las de las células somáticas, por lo que serían atacadas por el sistema inmunitario si la barrera hematotesticular no impidiera su detección.
2. *Apoyo de la espermatogenia:* la espermatogenia depende de la estimulación de las células nodrizas por la FSH y la testosterona circulantes. Por


Túbulos seminíferos que contienen espermátidas tempranas
Túbulos seminíferos que contienen espermátidas tardías
Túbulos seminíferos que contienen espermatozoides

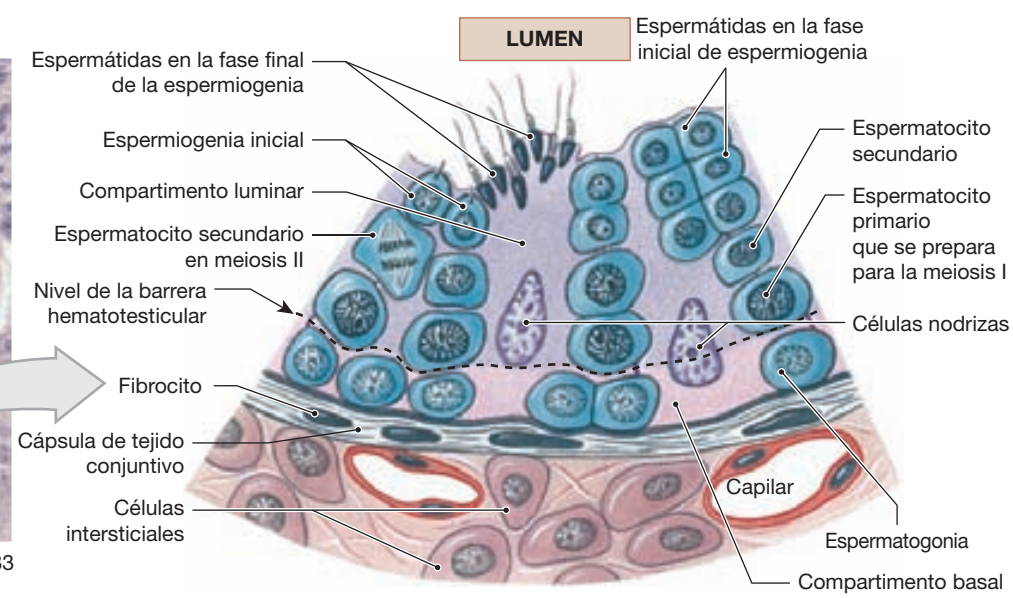
(a) Túbulos seminíferos



(b) Producción de espermatozoides



(c) Túbulo seminífero MO × 983



(d) Pared de un túbulo seminífero

Figura 27.5 Histología de los túbulos seminíferos

(a) Corte de los túbulos seminíferos. **(b)** Esquema de la meiosis en los testículos en el que se señala el destino de los tres cromosomas representativos. **(c)** Espermatogenia en un segmento de un túbulo seminífero. **(d)** Barrera hematotesticular y estructura de la pared de un túbulo seminífero.

su parte, las células nodrizas estimuladas apoyan la división de las espermatogonias y las divisiones meióticas de los espermatocitos.

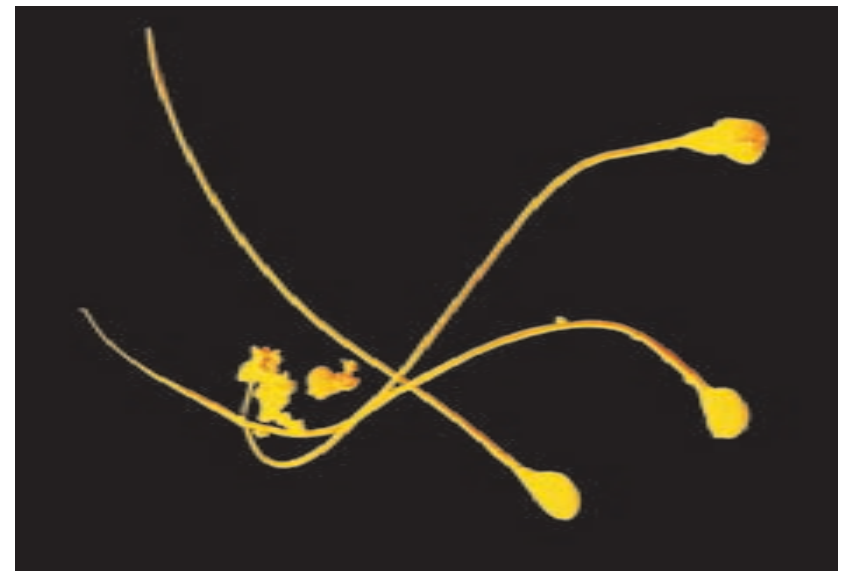
3. *Apoyo de la espermiogenia:* la espermiogenia depende de la presencia de células nodrizas, las cuales rodean y envuelven a las espermátidas, a las que aportan los nutrientes y estímulos bioquímicos necesarios para su desarrollo.
4. *Secreción de inhibina:* las células nodrizas sintetizan una hormona conocida como **inhibina.** La inhibina atenúa la producción hipofisaria de las hormonas folitropina (FSH) y gonadoliberina (GnRH) [p. 521]. Cuanto mayor sea la velocidad de producción de espermatozoides, mayor será la cantidad de inhibina secretada.
5. *Secreción de proteína transportadora de andrógenos:* la **proteína transportadora de andrógenos (ABP)** se une a estas moléculas (fundamentalmente, a la testosterona) en el líquido que contienen los túbulos seminíferos. Se cree que esta proteína desempeña un destacado papel en la concentración de andrógenos en dichos túbulos y la estimulación de la espermiogenia.

Anatomía del espermatozoide [v. figura 27.6]

El espermatozoide posee tres regiones definidas: la *cabeza*, el *segmento intermedio* y la *cola* (**v. figura 27.6**).

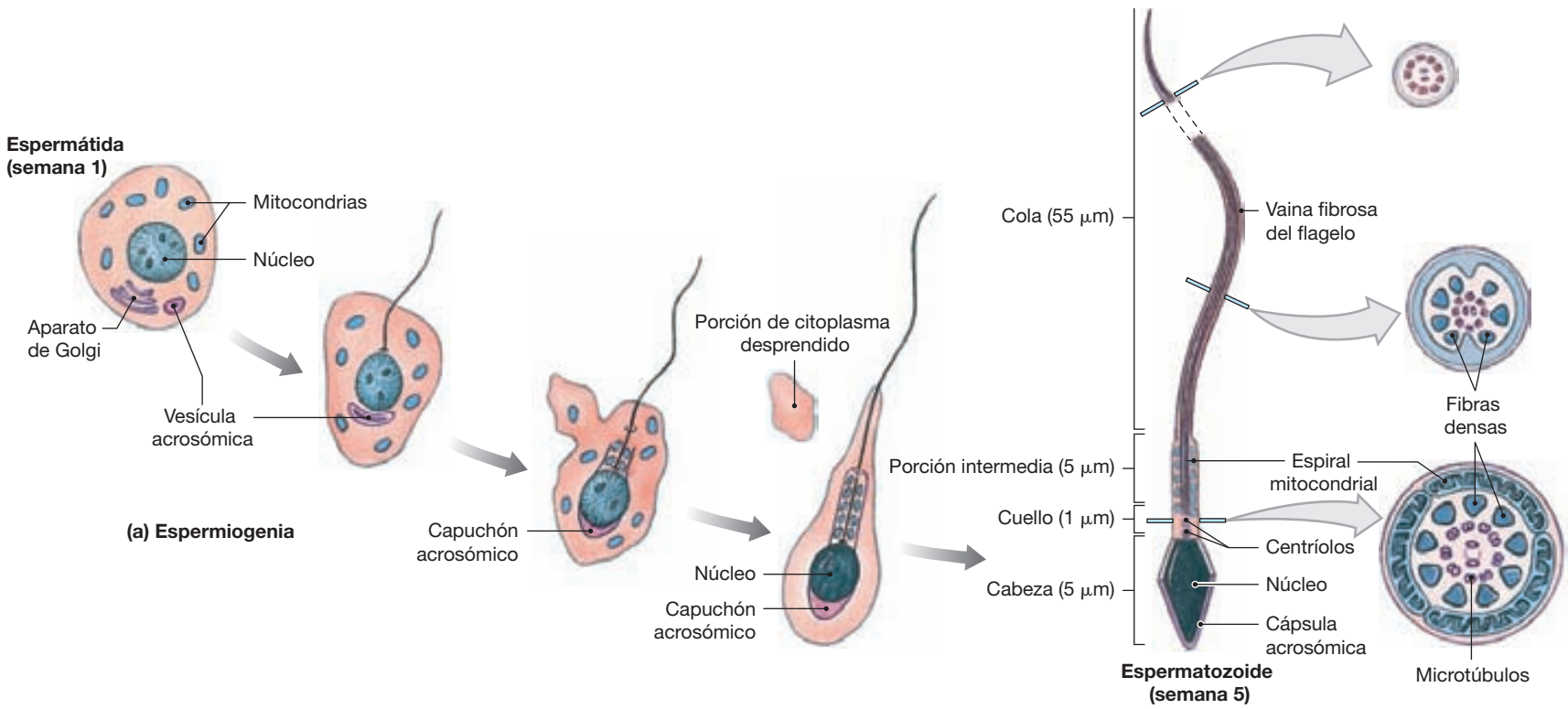
- La **cabeza** es un óvalo aplanado que contiene cromosomas muy compactados. En su extremo se encuentra el **capuchón acrosómico** o *acrosoma,* un compartimento vesicular rodeado de una membrana que contiene enzimas que participan en las etapas iniciales de la fecundación.
- La cabeza se une al **segmento intermedio** a través de un **cuello** corto. El cuello contiene los dos centríolos de la espermátida inicial. Los microtúbulos del centríolo distal se continúan con los de segmento intermedio y la cola. Las mitocondrias dispuestas en espiral alrededor de los microtúbulos aportan la energía necesaria para mover la cola del espermatozoide.
- La **cola** representa el único ejemplo de un flagelo en el organismo humano [p. 38]. Un **flagelo** mueve las células de un punto a otro. A diferencia de los cilios, cuyo movimiento es impredecible, el flagelo del espermatozoide posee un movimiento complejo en sacacorchos. Una vaina fibrosa y densa rodea a los microtúbulos del flagelo.

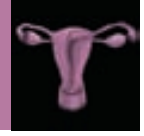
A diferencia de otras células menos especializadas, el espermatozoide maduro carece de retículo endoplasmático, aparato de Golgi, lisosomas, peroxisomas, inclusiones y muchas otras inclusiones citoplasmáticas. Esta célula debe absorber nutrientes (principalmente, fructosa) del líquido circundante debido a que no contiene glucógeno ni ninguna otra fuente de energía.



(b) Espermatozoides MEB × 1.688

Figura 27.6 Espermiogenia y rasgos histológicos del espermatozoide
(a) Diferenciación de una espermátida en un espermatozoide. **(b)** Histología del espermatozoide humano.





Nota clínica

Cáncer de testículo La prevalencia del **cáncer de testículo** es relativamente baja, de modo que cada año se registran unos 8.250 casos nuevos en EE. UU. No obstante, esta entidad constituye la neoplasia más frecuente en hombres de edades comprendidas entre 15 y 34 años. Nueve de cada 10 casos de cáncer de testículo se deben a espermatogonias o espermatozoides anómalos. Por lo general, el tratamiento consiste en la combinación de una orquiectomía con quimioterapia. El ciclista Lance Armstrong ganó el agotador Tour de Francia una cifra récord de siete ocasiones después de someterse a un tratamiento satisfactorio frente al cáncer de testículos con metástasis a cerebro y pulmón.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué estructuras configuran el cordón espermático?
2. ¿Por qué son relativamente frecuentes las hernias inguinales en el hombre?
3. ¿Por qué reviste importancia la localización de los testículos (fuera de la cavidad peritoneal) para la producción de espermatozoides que sean viables?
4. ¿Qué función desempeña la barrera hematotesticular?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Aparato reproductor masculino

Los testículos producen espermatozoides maduros que son incapaces de llevar a cabo la fecundación dado que aún no están dotados de capacidad de movimiento. Los demás componentes del aparato reproductor masculino se ocupan de la maduración funcional, la nutrición, el almacenamiento y el transporte de estas células.

Epidídimo [v. figuras 27.1/27.3/27.4/27.7]

En una fase avanzada de su desarrollo, los espermatozoides abandonan las células nodrizas y pasan a la luz del túbulo seminífero. A pesar de conservar la mayor parte de los rasgos de los espermatozoides maduros, son inmaduros desde el punto de vista funcional y no pueden desplazarse de forma coordinada ni fecundar el ovocito. Las corrientes de líquidos transportan a los espermatozoides a lo largo del túbulo recto, la red testicular (**v. figura 27.7a**) y el epidídimo. La luz del epidídimo se encuentra revestida por un epitelio cilíndrico seudoestratificado característico que posee esterocilios largos (**v. figura 27.7b,c**).

El **epidídimo** se dispone a lo largo del margen posterior de los testículos (**v. figuras 27.1,** p. 716, **27.3,** p. 718, **27.4,** p. 719, y **27.7a**). Se textura es firme y se puede palpar a través de la piel del escroto. El epidídimo es un túbulo de casi 7 m de longitud que se encuentra enrollado y enroscado de tal modo que ocupa el menor espacio posible. El epidídimo se divide en una *cabeza*, un *cuerpo* y una *cola*.

- La **cabeza** superior recibe espermatozoides a través de los conductos eferentes del mediastino de los testículos.
- El **cuerpo** se localiza en posición distal respecto al último conducto eferente y se prolonga en sentido inferior a lo largo del borde posterior del testículo.
- El número de circunvoluciones disminuye en las inmediaciones del margen inferior del testículo, lo que define el comienzo de la **cola.** La cola invierte la dirección de esta estructura y el epitelio del túbulo cambia conforme va ascendiendo. Los estereocilios desaparecen y el epitelio es prácticamente idéntico al del conducto deferente adyacente. La cola del epidídimo constituye la principal zona de almacenamiento de espermatozoides.

El epidídimo desempeña tres funciones clave:

1. *Vigila y ajusta la composición del líquido secretado por los túbulos seminíferos:* el revestimiento de epitelio cilíndrico seudoestratificado del epidídimo posee unos estereocilios característicos (**v. figura 27.7b,c**) que amplían el área superficial encargada de la absorción y la secreción hacia dicho líquido.
2. *Actúa como centro de reciclaje de espermatozoides dañados:* se absorben los residuos celulares y los espermatozoides dañados y se liberan los productos derivados de la degradación enzimática al líquido intersticial circundante para su captación por la circulación del epidídimo.
3. *Almacena espermatozoides y facilita su maduración funcional:* el espermatozoide tarda unas 2 semanas en recorrer el epidídimo, período durante el cual finaliza su maduración funcional en un entorno protegido. Tras abandonar el epidídimo, los espermatozoides son maduros, pero carecen de capacidad de movimiento. Han de someterse al proceso de **capacitación** para convertirse en células activas, móviles y completamente funcionales. Normalmente, este proceso se da en dos etapas: 1) los espermatozoides adquieren la capacidad de movimiento al mezclarse con las secreciones de las glándulas seminales, y 2) adquieren la capacidad de fecundación al modificarse la permeabilidad del plasmalema del espermatozoide como consecuencia de su exposición a las condiciones imperantes en el tubo reproductor femenino. Un producto secretado por el epidídimo impide la capacitación prematura de los espermatozoides almacenados en el tubo reproductor masculino.

El transporte en el epidídimo se basa en la combinación del movimiento de líquidos con contracciones peristálticas del músculo liso. Finalmente, los espermatozoides abandonan la cola del epidídimo y pasan al conducto deferente.

Conducto deferente [v. figuras 27.1/27.3/27.7a/27,8a,b]

El **conducto deferente,** también conocido como *vaso deferente*, tiene una longitud de 40 a 45 cm. Comienza en la cola del epidídimo (**v. figura 27.7a**) y asciende hacia la cavidad abdominopélvica a través del conducto inguinal dentro del cordón espermático (**v. figura 27.3**). El conducto deferente recorre la porción posterior de esta cavidad, desciende a lo largo de la superficie lateral de la vejiga urinaria hacia el borde superoposterior de la próstata (**v. figura 27.1**). Inmediatamente antes de alcanzar esta estructura, el conducto se dilata para dar lugar a una porción más amplia llamada **ampolla** (**v. figura 27.8a**).

La pared del conducto deferente incluye una gruesa capa de músculo liso (**v. figura 27.8b**), cuyas contracciones peristálticas impulsan a los espermatozoides y el líquido a lo largo del conducto, que está tapizado de un epitelio cilíndrico con estereocilios. El conducto deferente, además de ocuparse del transporte de los espermatozoides, puede almacenar espermatozoides durante varios meses. Los espermatozoides se mantienen en un estado de animación suspendida caracterizado por unas bajas tasas metabólicas.

La unión de cada ampolla con la base de una glándula seminal define la porción inicial de un **conducto eyaculador,** un canal de longitud relativamente breve (2 cm) que atraviesa la pared muscular de la próstata y desemboca en la uretra (**v. figura 27.1**) en un punto cercano al conducto eyaculador homolateral.

Uretra [v. figuras 27.1/27.9]

En el hombre, la uretra comprende desde la vejiga urinaria hasta la porción proximal del pene y tiene una longitud de unos 15 a 20 cm. Se divide en las regiones prostática, membranosa y esponjosa (**v. figuras 27.1** y **27.9**). En el capítulo 26 se abordan estas subdivisiones [p. 707]. La uretra masculina es un canal que forma parte tanto del aparato urinario como del reproductor.

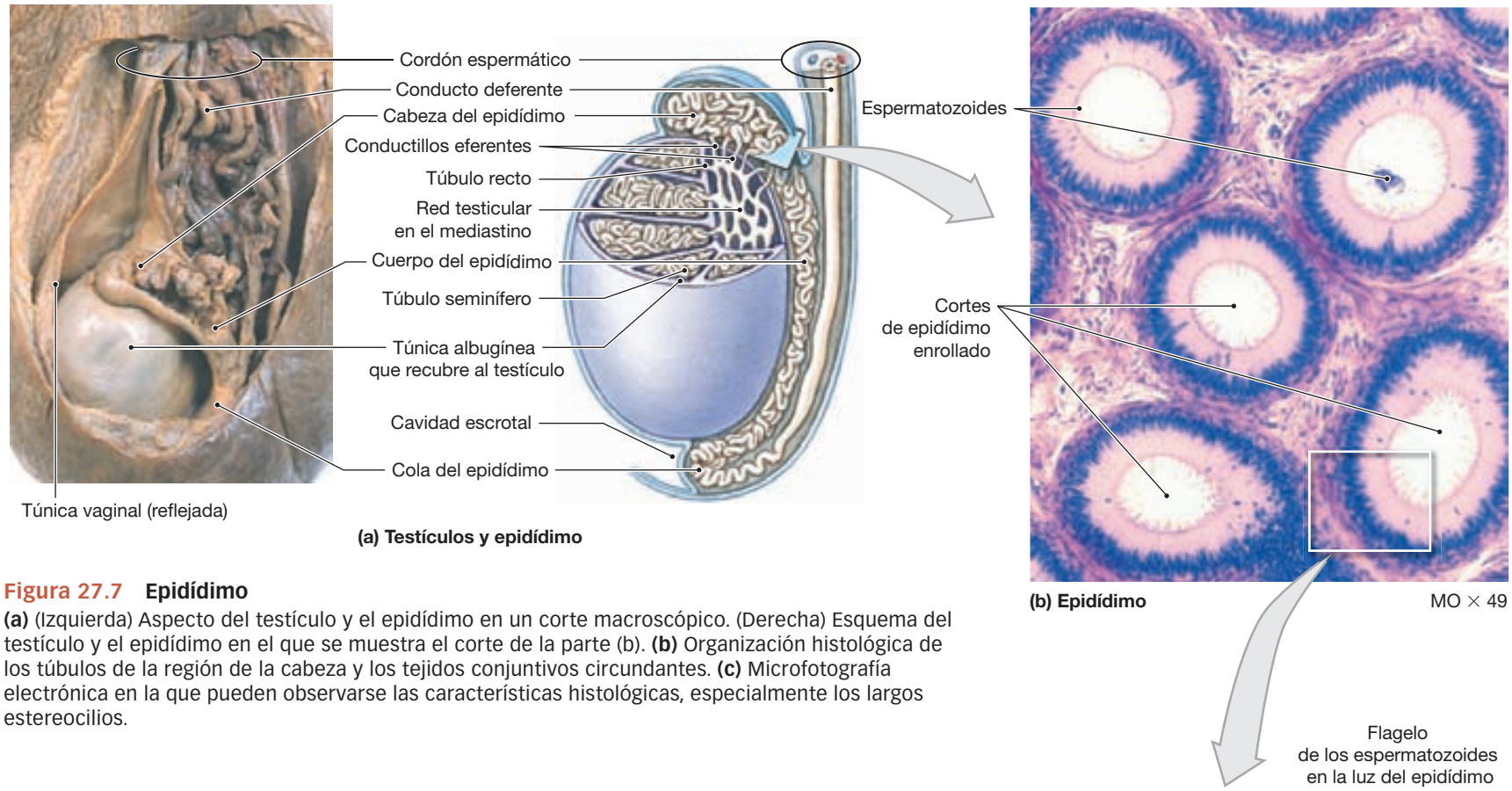


Figura 27.7 Epidídimo
(a) (Izquierda) Aspecto del testículo y el epidídimo en un corte macroscópico. (Derecha) Esquema del testículo y el epidídimo en el que se muestra el corte de la parte (b). **(b)** Organización histológica de los túbulos de la región de la cabeza y los tejidos conjuntivos circundantes. **(c)** Microfotografía electrónica en la que pueden observarse las características histológicas, especialmente los largos estereocilios.

Glándulas accesorias [v. figuras 27.1/27.8a/27.9a]

Los líquidos secretados por los túbulos seminíferos y el epidídimo tan sólo representan el 5% del volumen final del semen. El líquido seminal contiene una mezcla de las secreciones producidas por un gran número de glándulas, cada una de las cuales posee unas propiedades bioquímicas exclusivas. Estas glándulas son las *glándulas seminales*, la *próstata* y las *glándulas bulbouretrales* (**v. figuras 27.1**, p. 716, y **27.8a**). Las funciones más destacadas de estas glándulas son: 1) activación de los espermatozoides; 2) provisión de los nutrientes necesarios para la adquisición de la capacidad de movimiento por parte de estas células, y 3) producción de tampones que contrarresten la acidez de los contenidos uretrales y vaginales.

Glándulas seminales [v. figuras 27.1/27.8a,c/27.9a]

El conducto deferente desemboca en la región donde confluyen la ampolla y el conducto que drena los contenidos de la glándula seminal. Las **glándulas seminales,** o *vesículas seminales*, se rodean de tejido conjuntivo a ambos lados de la línea media y se encuentran entre la pared posterior de la vejiga urinaria y la pared anterior del recto. Se trata de unas glándulas cilíndricas de unos 15 cm de longitud. Cada túbulo posee numerosas ramificaciones cortas y aparece enroscado y plegado para formar una masa compacta enrollada de unos 5 cm por 2,5 cm. En las **figuras 27.1, 27.8a** y **27.9a** se puede apreciar la localización de las glándulas seminales.

Las glándulas seminales son unas glándulas secretoras muy activas tapizadas por un epitelio cilíndrico o cúbico seudoestratificado (**v. figura 27.8c**). Aportan aproximadamente el 60% del volumen del semen; a pesar de que la concentración osmótica del líquido vesicular suele coincidir con la de la sangre, su componente difiere notablemente. Concretamente, la secreción de estas glándulas contiene prostaglandinas, proteínas de coagulación y unas concentraciones relativamente altas de fructosa, molécula que los espermatozoides metabolizan con facilidad para generar ATP [p. 38]. El líquido seminal pasa al conducto eferente durante la fase de *emisión,* en la que se producen contracciones peristálticas en el conducto deferente, las glándulas seminales y la próstata. El sistema nervioso simpático controla dichas contracciones [p. 446]. Al mezclarse con las secreciones de las glándulas seminales, los espermatozoides que hasta entonces habían permanecido inactivos a pesar de ser células funcionales comienzan a batir sus flagelos y se convierten en células dotadas de una gran capacidad de movimiento.

Próstata [v. figuras 27.1/27.8a,e/27.9a]

La **próstata** es un pequeño órgano muscular redondo cuyo diámetro se aproxima a 4 cm. Esta glándula engloba a la uretra prostática que sale de la vejiga urinaria (**v. figuras 27.1, 27.8a** y **27.9a**). El tejido glandular de la próstata se

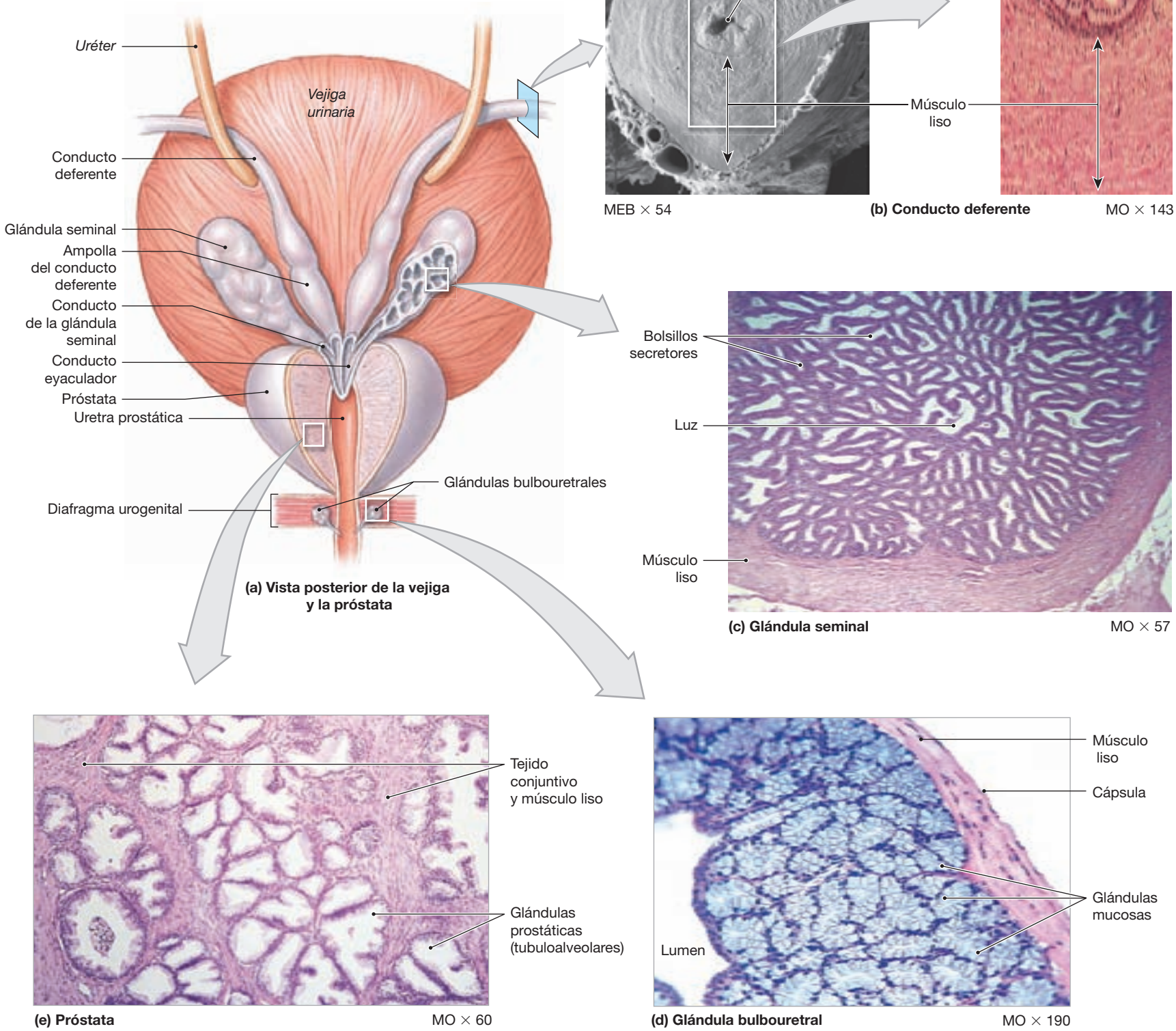


Figura 27.8 Conducto deferente y glándulas accesorias

(a) Vista posterior de la vejiga urinaria y próstata que muestra las regiones en las que se divide el conducto deferente con relación a las estructuras vecinas. **(b)** Microfotografías electrónicas óptica y de barrido en las que se observan numerosas capas de músculo liso que rodean a la luz del conducto deferente. [SEM ©R. G. Kessel and R.H. Kardon, «Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy», W. H. Freeman & Co., 1979. Todos los derechos reservados.] **(c)** Histología de las glándulas seminales. Obsérvese la extensa área de superficie glandular de estas estructuras, que producen la mayor parte del volumen del líquido seminal. **(d)** Histología de las glándulas bulbouretrales, que secretan una densa mucosidad hacia la uretra esponjosa. **(e)** Detalle histológico de las glándulas de la próstata. El tejido que separa a dos unidades glandulares consecutivas se compone fundamentalmente de músculo liso, cuya contracción ayuda a movilizar las secreciones hacia el conducto eyaculador y la uretra.

compone de un conjunto de 30 a 50 *glándulas tubuloalveolares compuestas* (v. figura 27.8e) que se encuentran inmersas en un denso lecho de fibras de músculo liso. Por lo general, el revestimiento epitelial es un epitelio cilíndrico simple o estratificado.

Las glándulas prostáticas sintetizan el **líquido prostático,** una secreción ácida débil que constituye el 20% al 30% del volumen del semen. Además de otras moléculas cuya importancia se desconoce, contiene **plasmina seminal,** un antibiótico que podría evitar infecciones urinarias en el varón. Estas secreciones se expulsan hacia la uretra prostática por medio de contracciones peristálticas de la pared muscular.

Glándulas bulbouretrales [v. figuras 27.1/27.8a,d/27.9a]

La pareja de **glándulas bulbouretrales,** o *glándulas de Cowper,* se localizan en la base del pene y se recubren de la fascia del diafragma urogenital (v. figuras 27.1, 27.8a, p. 716, y 27.9a). Son unas estructuras redondas de un diámetro cercano a 10 mm. El conducto de cada glándula sigue la trayectoria de la uretra esponjosa a lo largo de 3 o 4 cm para después desembocar en la luz de la uretra. Tanto las glándulas como los conductos se revisten de un epitelio cilíndrico simple. Estas glándulas mucosas tubuloalveolares compuestas (v. figura 27.8d) secretan una mucosidad alcalina, densa y pegajosa que ayuda a neutralizar cualquier resto de ácidos urinarios presente en la uretra al tiempo que lubrica la porción proximal del pene.

Semen

En una eyaculación típica se liberan entre 2 y 5 mL de semen. Este volumen, conocido como un **eyaculado,** contiene los siguientes elementos:

1. *Espermatozoides:* el **recuento espermático** normal es de 20 a 100 millones de espermatozoides por mililitro de semen.
2. *Líquido seminal:* el **líquido seminal,** el componente líquido del semen, es una mezcla de secreciones glandulares con una composición iónica y nutritiva especial. El líquido seminal es una mezcla de las secreciones de las glándulas seminales (60% del volumen total), la próstata (30%), las células nodrizas y el epidídimo (5%), y las glándulas bulbouretrales (5%).
3. *Enzimas:* el líquido seminal contiene varias enzimas que desempeñan funciones relevantes, como: 1) una proteasa que facilita la disolución de las secreciones mucosas presentes en la vagina, y 2) plasmina seminal, una enzima con actividad antibiótica que destruye diversas bacterias, como *Escherichia coli*.

Pene [v. figuras 27.1/27.9]

El **pene** es un órgano cilíndrico que contiene la porción distal de la uretra (v. figura 27.1). A través de él se expulsa la orina al exterior y se introduce el semen en la vagina de la mujer durante el coito. Se distinguen tres regiones en el pene (v. figura 27.9a,c):

- La **raíz** del pene corresponde a la porción fija que ancla este órgano a las ramas del isquion en el interior del triángulo urogenital inmediatamente por debajo de la sínfisis púbica [p. 280].
- El **cuerpo (eje)** del pene es su porción cilíndrica móvil que contiene masas de *tejido eréctil*.
- El **glande** del pene es el extremo distal dilatado que rodea al *orificio uretral externo*.

Normalmente, la piel que recubre el pene carece de vello y presenta una pigmentación más intensa que la del resto del organismo. La dermis contiene una capa de músculo liso y el tejido conjuntivo laxo subyacente permite el movimiento de la delgada epidermis sin que ello ocasione la distorsión de las estructuras más profundas. De igual modo, en la capa subcutánea aparecen arterias, venas y vasos linfáticos superficiales, aunque apenas se observan células adiposas.

Un pliegue cutáneo, que recibe el nombre de **prepucio,** rodea al extremo distal del pene. El prepucio se une al cuello del pene, una estructura relativamente estrecha, y continúa hacia el glande que circunda al orificio uretral externo. No existen folículos pilosos en estas superficies y unas **glándulas prepuciales** localizadas en la piel del cuello y la superficie interna del prepucio secretan un material céreo llamado **esmegma.** Por desgracia, esta secreción constituye una magnífica fuente de nutrientes para las bacterias, lo que da lugar a frecuentes reacciones inflamatorias e infecciones en esta región, especialmente cuando no se lava de manera frecuente. Estos problemas se pueden evitar por medio de la **circuncisión** para extirpar el prepucio por vía quirúrgica. En las sociedades occidentales (en particular, en EE. UU.) se suele llevar a cabo esta intervención poco después del nacimiento. A pesar de que constituye una cuestión polémica, el mantenimiento de esta práctica obedece a unos importantes condicionantes culturales y a algunos indicios epidemiológicos. La incidencia de infecciones del tracto urinario es mayor en los hombres no circuncidados, en los que el riesgo de cáncer de pene también es más alto que en los circuncidados.

Por debajo de la capa de tejido conjuntivo laxo subyacente a la dermis, las estructuras internas del pene se rodean de una densa red de fibras elásticas. En esencia, el cuerpo del pene consta de tres columnas cilíndricas paralelas de **tejido eréctil** (v. figura 27.9), el cual se compone de un entramado tridimensional de canales vasculares separados de forma incompleta por tabiques de tejido conjuntivo elástico y fibras de músculo liso. En estado de reposo, las ramas arteriales se encuentran estrechadas y las divisiones musculares están tensas, lo que reduce la irrigación sanguínea del tejido eréctil. El sistema nervioso parasimpático estimula la relajación del músculo liso de las paredes arteriales, lo que induce los siguientes fenómenos:

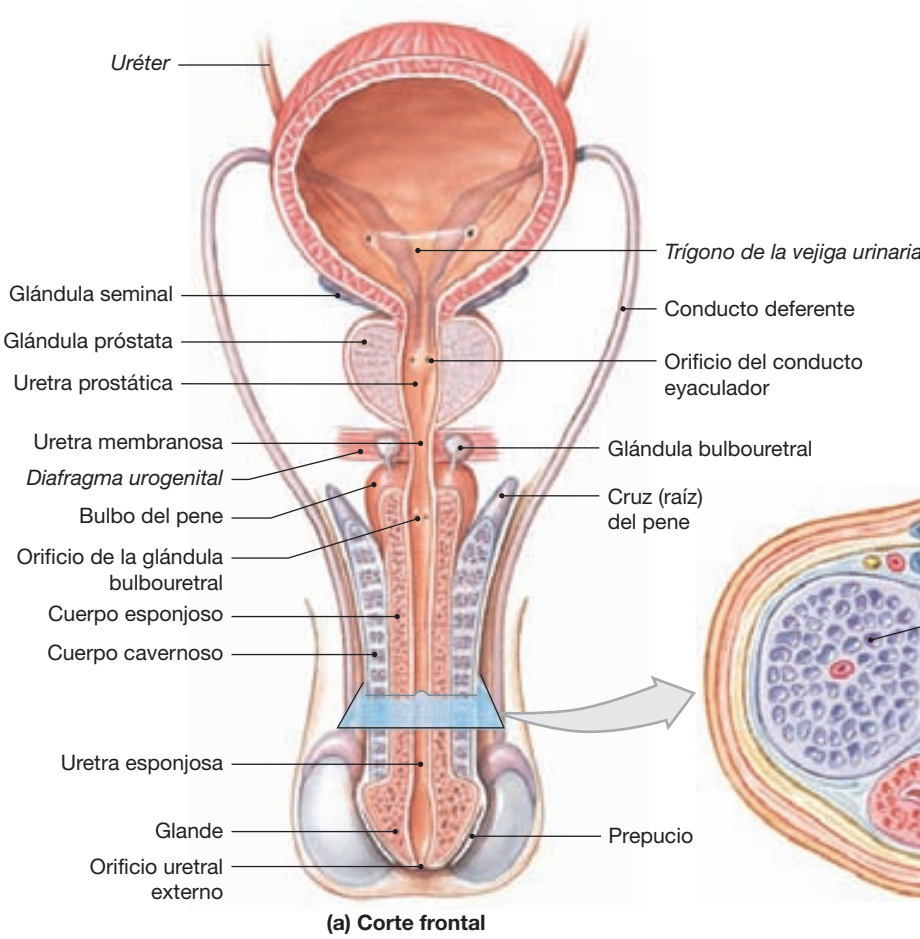
1. Dilatación vascular.
2. Aumento de la irrigación.
3. Congestión de los canales vasculares por la sangre.
4. **Erección** del pene.

El pene flácido (no erecto) pende en un plano inferior al de la sínfisis púbica y en posición anterior al escroto, mientras que durante la erección se tensa y adopta una posición más vertical.

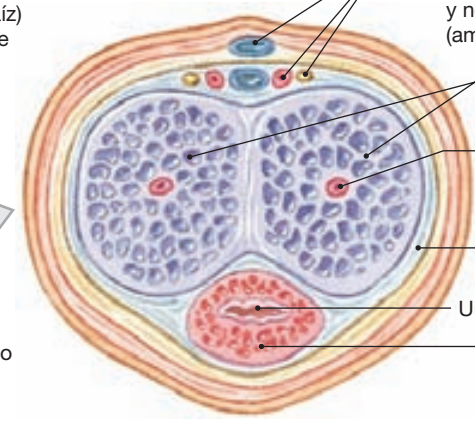
En la superficie anterior del pene flácido, los dos **cuerpos cavernosos** cilíndricos se separan por medio de un delgado tabique y se rodean de una densa cápsula colagenosa. Estos cuerpos divergen en sus bases y dan lugar a la **cruz** (*crura*, piernas; singular, *cruz*) del pene. Cada cruz se une a la rama del isquion mediante ligamentos densos de tejido conjuntivo. Los cuerpos cavernosos se disponen en sentido distal a lo largo del pene hasta el glande y cada uno de ellos posee una **arteria profunda del pene** (v. figura 27.9a-c).

La uretra esponjosa se rodea del **cuerpo esponjoso.** Esta estructura eréctil comprende desde el diafragma urogenital hasta el extremo distal del pene, en el que se expande para formar el glande. Las fibras elásticas son más abundantes en la vaina que rodea a este cuerpo que en la de los cuerpos cavernosos y el tejido eréctil contiene un par de arterias. El **bulbo** del pene corresponde al extremo proximal engrosado del cuerpo esponjoso.

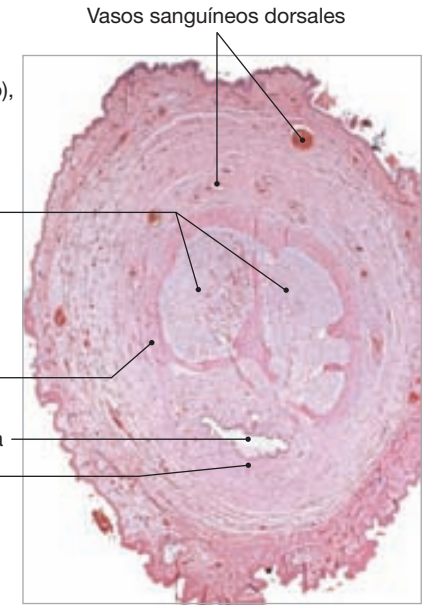
La liberación del semen una vez conseguida la erección se produce a través de dos etapas. Durante la **emisión,** el sistema nervioso simpático coordina las contracciones peristálticas que se propagan sucesivamente a lo largo del conducto deferente, las glándulas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales. Los componentes del semen del aparato genital masculino se mezclan gracias a estas contracciones. A continuación tiene lugar la **eyaculación** tras la aparición de contracciones rítmicas muy potentes de los *músculos isquiocavernosos* y *bulboesponjoso,* del suelo pélvico [pp. 279-280]. Los músculos isquiocavernosos se insertan a ambos lados del pene y su contracción persigue tensar este órgano. El músculo bulboesponjoso rodea la base del pene y al contraerse empuja al semen hacia el orificio uretral externo. Diversos reflejos de los segmentos lumbar inferior y sacro superior controlan estas contracciones [pp. 457, 466].



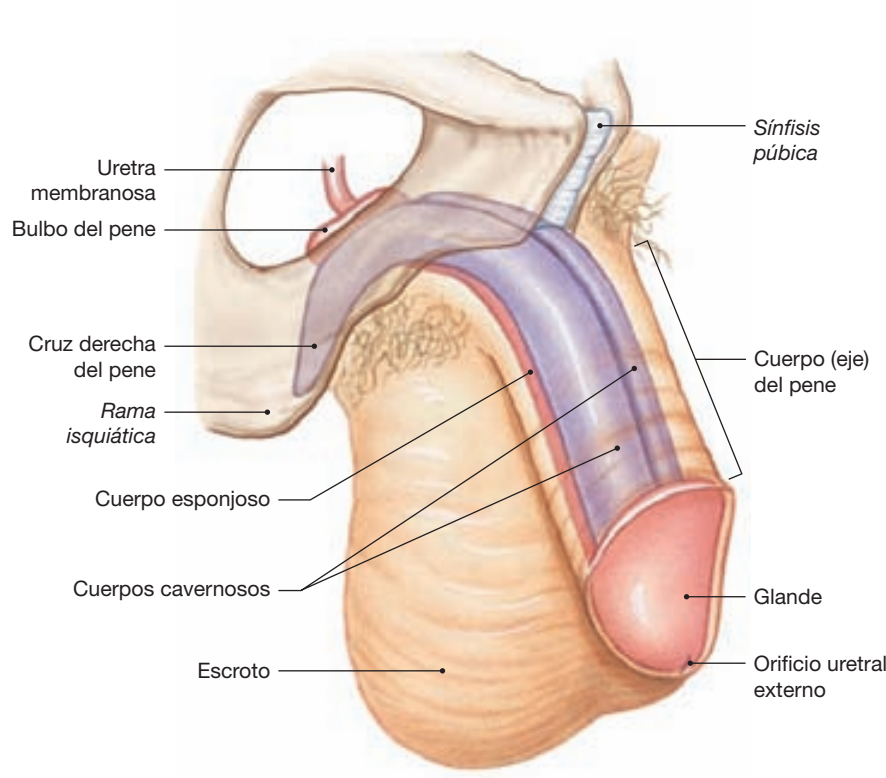
(a) Corte frontal



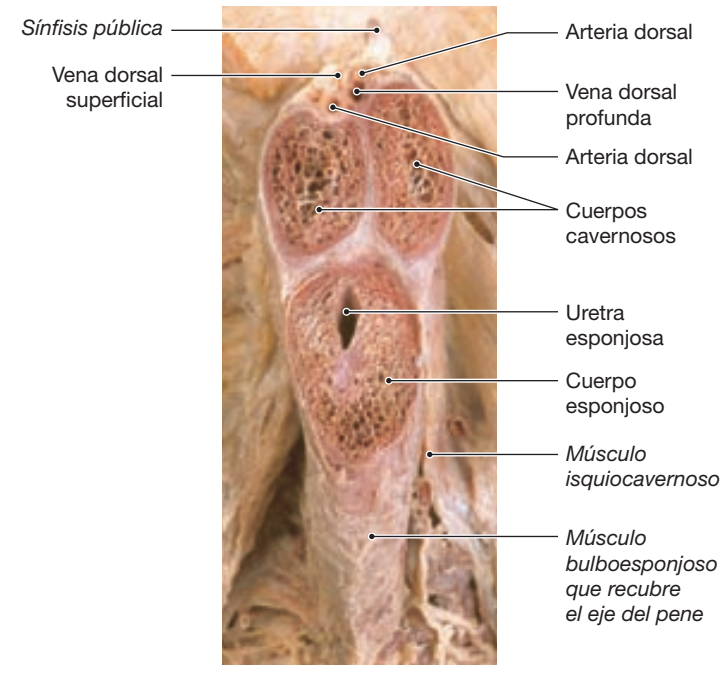
(b) Corte transversal



MO × 12



(c) Vista lateral oblicua



(d) Corte transversal de un pene disecado

Figura 27.9 El pene

(a) Corte frontal en el que pueden apreciarse las estructuras del pene. **(b)** Corte transversal del pene en el que se observa la relación histológica entre la uretra y las tres masas de tejido eréctil. **(c)** Vista lateral y oblicua del pene, que representan la orientación de los tejidos eréctiles. **(d)** Corte transversal del eje del pene.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son las dos etapas que integran la capacitación y cuándo tienen lugar?
2. Describa la trayectoria de los espermatozoides en desarrollo desde su liberación de las células nodrizas hasta su expulsión del organismo.

Véase «Respuestas» al final del libro.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato reproductor masculino, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Anatomía del aparato reproductor femenino [v. figuras 27.10/27.11/27.15]

El aparato reproductor de la mujer debe producir gametos funcionales, proteger y mantener al embrión en desarrollo, y alimentar al neonato. La figura 27.10 muestra los principales elementos del aparato genital femenino. Los gametos femeninos abandonan los **ovarios,** se desplazan a lo largo de las **trompas uterinas** *(trompas de Falopio* u *oviductos),* en los que puede tener lugar la fecundación, hasta alcanzar finalmente el **útero.** El útero desemboca en la **vagina;** el orificio externo de la vagina se encuentra rodeado por los genitales externos femeninos. Al igual que en el hombre, un abanico de glándulas accesorias liberan sus secreciones al tubo reproductor.

Los ovarios, las trompas uterinas y el útero se encuentran rodeados por un amplio mesenterio que recibe el nombre de **ligamento ancho** (v. figuras 27.11 y 27.15). Las trompas uterinas se extienden a lo largo del margen superior del ligamento ancho y desembocan en la cavidad pélvica a ambos lados de los ovarios. El borde libre del ligamento ancho que fija a cada trompa uterina se denomina **mesosálpinx**. El **mesovario,** un pliegue engrosado del ligamento ancho, sostiene a cada ovario y mantiene su posición.

El ligamento ancho se encuentra unido a las superficies laterales y el suelo de la cavidad pélvica, en la que se continúa con el peritoneo parietal. Por tanto, el ligamento ancho subdivide a la cavidad pélvica. El bolsillo creado entre la pared posterior del útero y la superficie anterior del colon recibe el nombre de **fondo de saco rectouterino,** mientras que el situado entre la pared anterior del útero y la pared posterior de la vejiga urinaria se llama **fondo de saco vesicouterino** (v. figuras 27.10 y 27.11c). Estas subdivisiones se visualizan mejor en un corte sagital.

Otros ligamentos ayudan al ligamento ancho a sostener y mantener la posición del útero y otros órganos reproductores. Estos ligamentos recorren la vaina mesentérica del ligamento ancho y se dirigen hacia los ovarios o el útero. El ligamento ancho restringe los desplazamientos laterales y la rotación, mientras que los restantes (que se enumeran en la siguiente sección) limitan los movimientos superoinferiores.

Ovarios [v. figuras 27.10/27.11/27.15]

Los **ovarios** son dos órganos de pequeño tamaño próximos a las paredes laterales de la cavidad pélvica (v. figuras 27.10, 27.11 y 27.15). La morfología típica del ovario es la de un óvalo aplanado de unos 5 cm de longitud, 2,5 cm de anchura y 8 mm de grosor. Cada ovario pesa entre 6 y 8 g. Estos órganos se ocupan de la producción de óvulos y la secreción de hormonas. El mesovario y dos ligamentos de soporte, el *ligamento ovárico* y el *ligamento suspensor*, estabilizan la posición de cada ovario. El **ligamento ovárico** se extiende desde la pared lateral del útero, en las proximidades del punto de anclaje de la trompa uterina, hacia la superficie interna del ovario. El **ligamento suspensor** se prolonga desde la superficie lateral del ovario a través del extremo abierto de la trompa uterina hasta la pared pélvica. Los vasos sanguíneos más importantes, la **arteria ovárica** y la **vena ovárica,** se dirigen al ovario y salen del mismo en el interior del ligamento suspensor. Transcurren a lo largo del mesovario junto a los nervios y los vasos linfáticos y se conectan con el ovario en el **hilio ovárico** (v. figura 27.11).

Los ovarios presentan una coloración rosácea o amarillenta y una consistencia nodular similar a la del requesón o una papilla grumosa de avena. El peritoneo visceral que recubre la superficie de cada ovario se compone de una monocapa de epitelio cúbico, el **epitelio germinal,** que recubre una capa de tejido conjuntivo denso denominado la **túnica albugínea.** La zona interior del ovario se puede dividir en una *corteza* superficial y una *médula* más profunda (v. figura 27.11b). La producción de los gametos tiene lugar en la corteza ovárica.

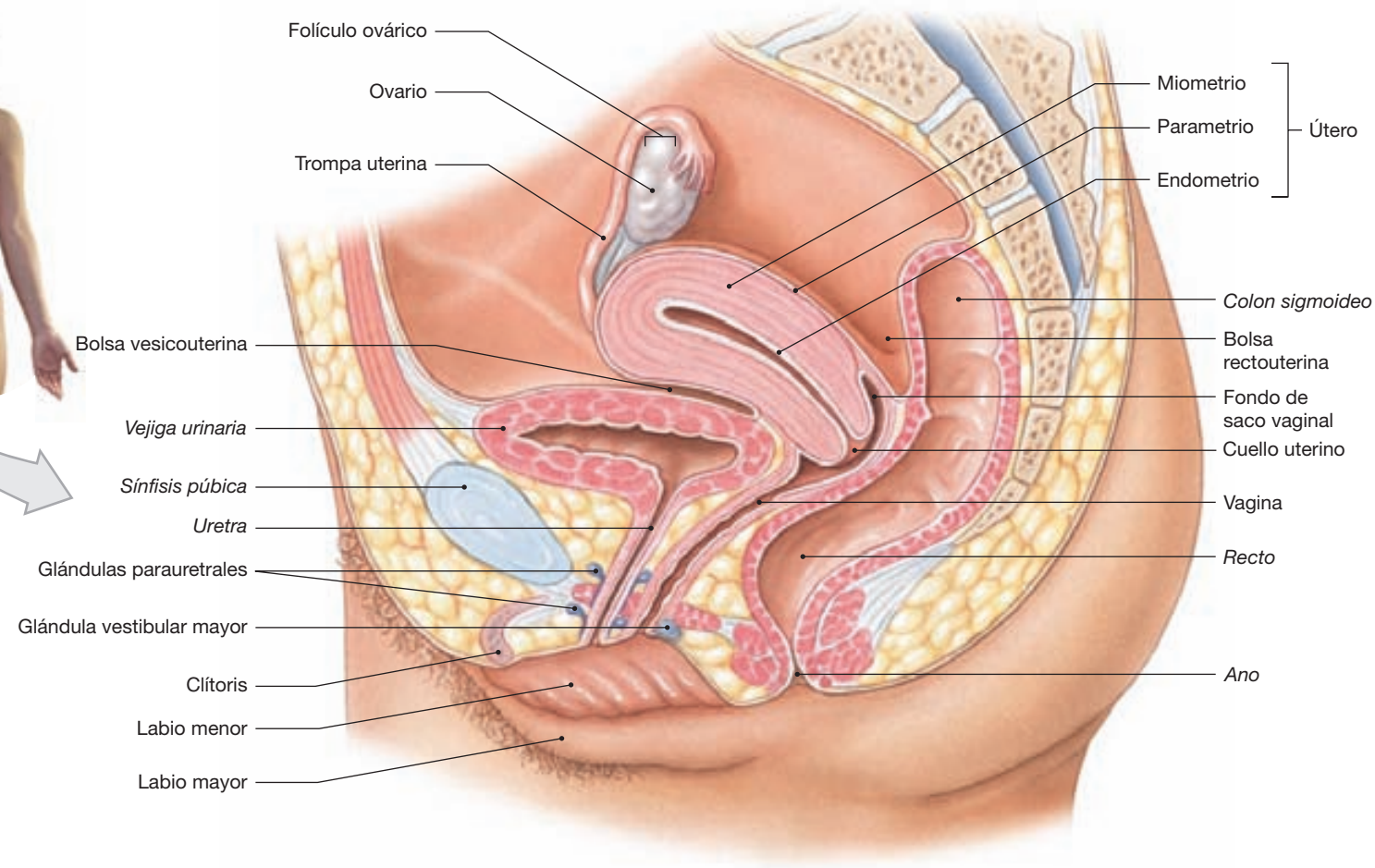
Ciclo ovárico y ovogenia (v. figuras 27.12/27.13)

El proceso de producción de los gametos femeninos, conocido como **ovogenia,** comienza antes del nacimiento, se mantiene en estado de latencia hasta la pubertad y finaliza con la *menopausia*. En la pubertad, la producción tiene lugar con una frecuencia mensual dentro del **ciclo ovárico.** Los gametos se desarrollan en unas estructuras especializadas, los **folículos ováricos.** A diferencia de lo que sucede en las gónadas masculinas, las divisiones mitóticas de las células madre femeninas, u **ovogonias,** se lleva a cabo con anterioridad al nacimiento. En una niña recién nacida existen unos 2 millones de **ovocitos primarios** y esta cifra ha descendido a unos 400.000 en la pubertad debido a su degeneración. Este proceso degenerativo, conocido como **atresia,** genera *folículos atrésicos*. Los ovocitos primarios restantes se localizan en la porción externa de la corteza ovárica, en las proximidades de la túnica albugínea, formando grupos denominados **nidos.** Cada ovocito primario contenido en uno de estos nidos se rodea de una capa de células foliculares escamosas sencillas. El conjunto del ovocito primario y las células foliculares configura un **folículo ovárico primordial.**

Nota clínica

Cáncer de ovario El **cáncer de ovario** representa el tercer cáncer más prevalente en el aparato genital femenino. Se asocia a la tasa de mortalidad más alta debido a que rara vez se diagnostica en sus etapas iniciales. Se ha calculado que una mujer estadounidense presenta un riesgo vital de 1/70 de desarrollar esta neoplasia. Aproximadamente el 6% de los tumores diagnosticados en la mujer corresponde al cáncer de ovario, el cual constituye la cuarta causa de mortalidad relacionada con el cáncer en EE. UU. El pronóstico de los tumores que proceden de tejidos ováricos generales u ovocitos anómalos es relativamente favorable. Estas neoplasias ofrecen una respuesta adecuada a la combinación de quimioterapia, radioterapia y cirugía. No obstante, el 85% de los tumores ováricos proviene de las células epiteliales y tan sólo una tercera parte de estas pacientes disfruta de una remisión prolongada. El diagnóstico precoz supone un aumento notable de la probabilidad de éxito del tratamiento, aunque de momento no existe ningún procedimiento estandarizado eficaz de cribado.

El tratamiento requiere la resección unilateral de un ovario y la trompa uterina correspondiente *(ovariosalpingectomía)* de forma independiente del estadio tumoral. En los estadios más avanzados se efectúa una *ovariosalpingectomía bilateral* (SOB) y una *histerectomía total* (extirpación del útero). Los fármacos incluidos en la agresiva quimioterapia destruyen las células madre de la médula ósea, por lo que las pacientes pueden requerir también un trasplante de médula ósea. Se pueden introducir algunos fármacos quimioterápicos en la cavidad peritoneal a concentraciones altas, pero sin producir los efectos sistémicos que se asociarían a la infusión de estos compuestos en el torrente circulatorio. Este procedimiento recibe el nombre de *tratamiento intraperitoneal.*



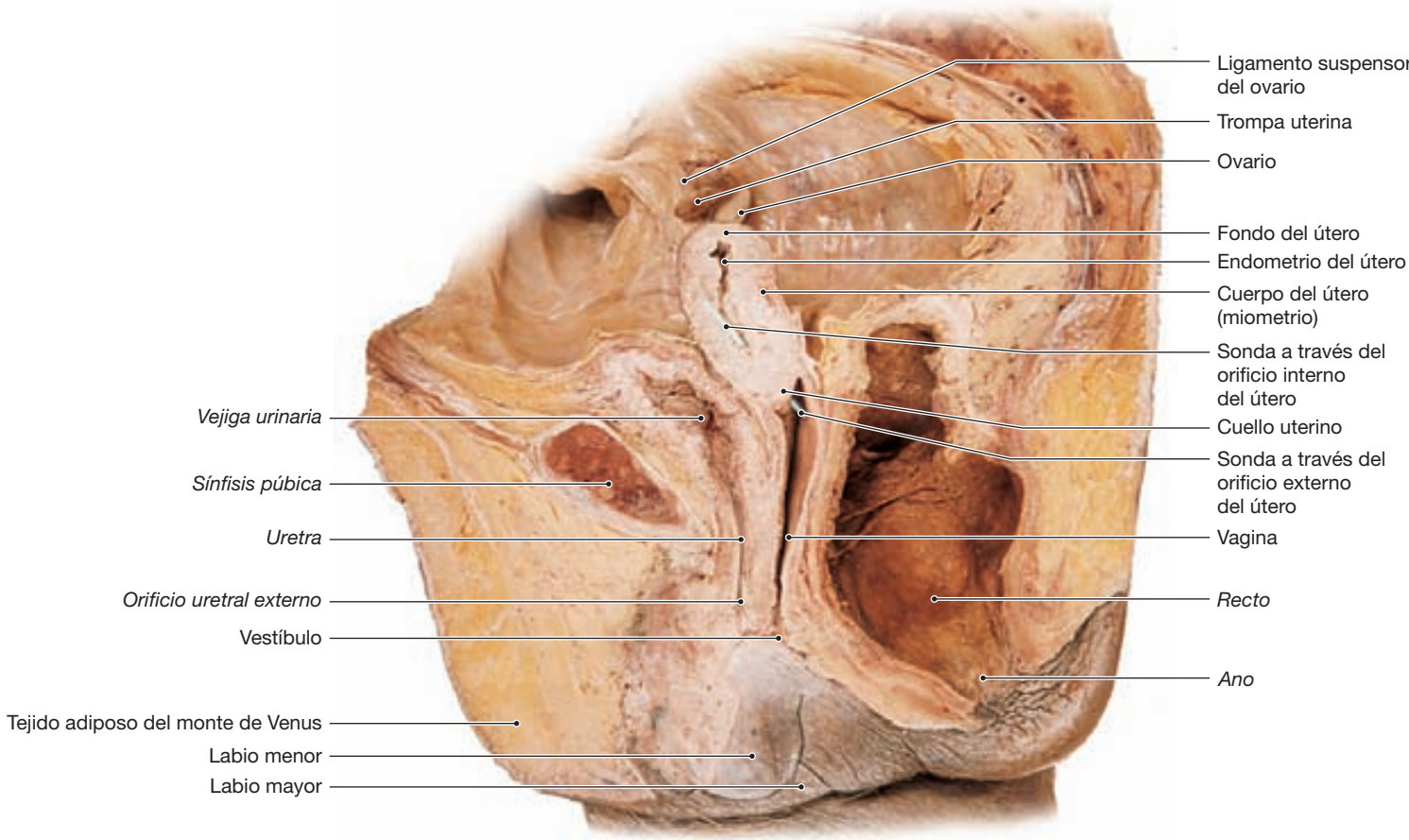


Figura 27.10 **Aparato reproductor femenino**
Corte sagital de la pelvis y el perineo femeninos.

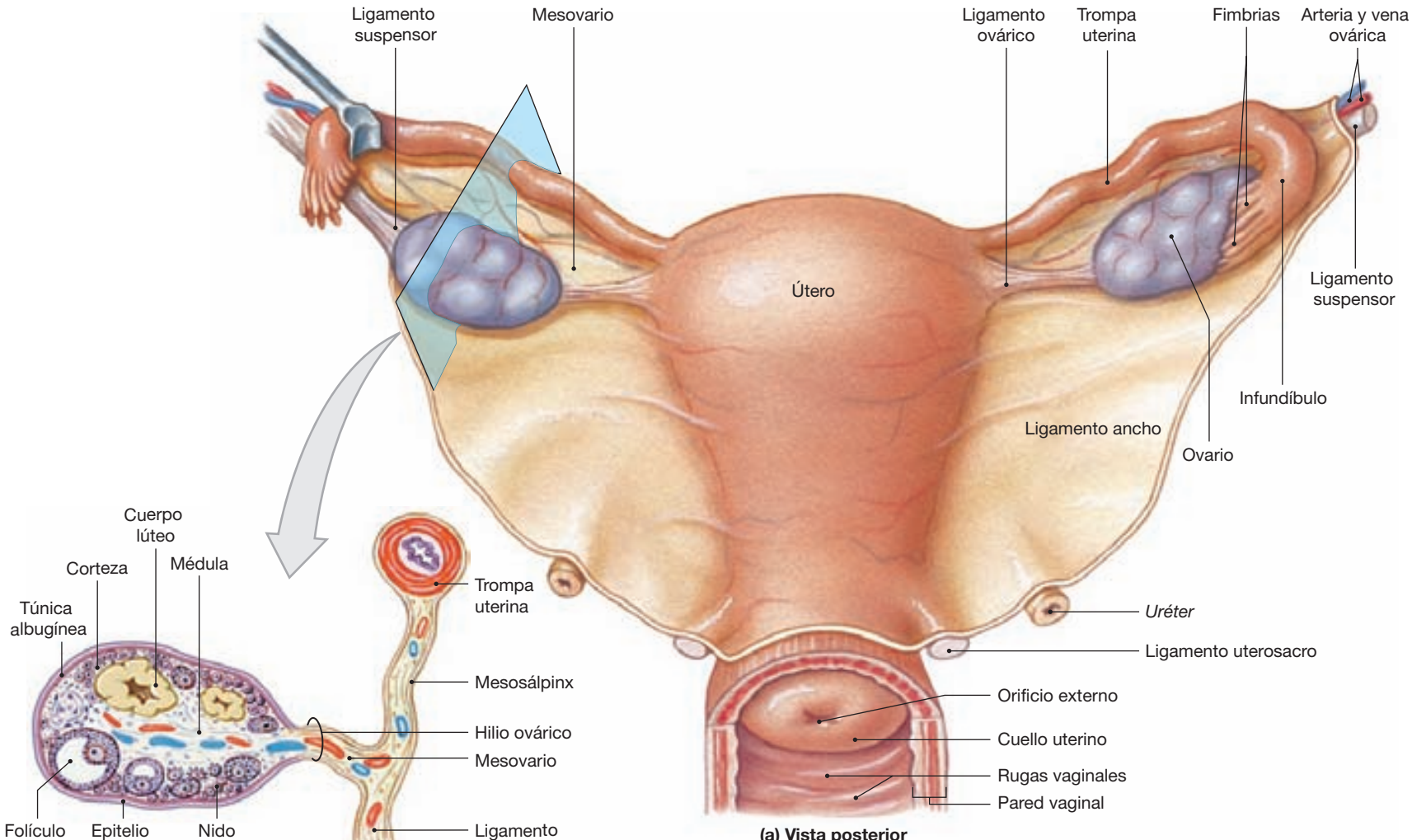


Figura 27.11 Ovarios, trompas uterinas y útero

(a) Vista posterior de los ovarios, las trompas uterinas y el útero, y de los ligamentos suspensores. **(b)** Corte del ovario y los ligamentos asociados. **(c)** Vista superior de la cavidad pélvica femenina en la que se aprecian los ligamentos de soporte del útero y los ovarios. En la foto no se puede visualizar la vejiga urinaria debido a que está recubierta por el peritoneo.

Durante la pubertad, el aumento de las concentraciones de FSH pone en marcha el ciclo ovárico y, a partir de ese momento, cada mes se estimula el desarrollo de algunos de los folículos primordiales. La **figura 27.12** recoge algunos pasos destacados de este ciclo.

PASO 1. ***Formación de los folículos ováricos primarios.*** El ciclo ovárico comienza cuando los folículos primordiales activados dan lugar a folículos primarios. En un folículo primario, las células foliculares se hipertrofian y someten a varias divisiones celulares, como consecuencia de las cuales se disponen varias

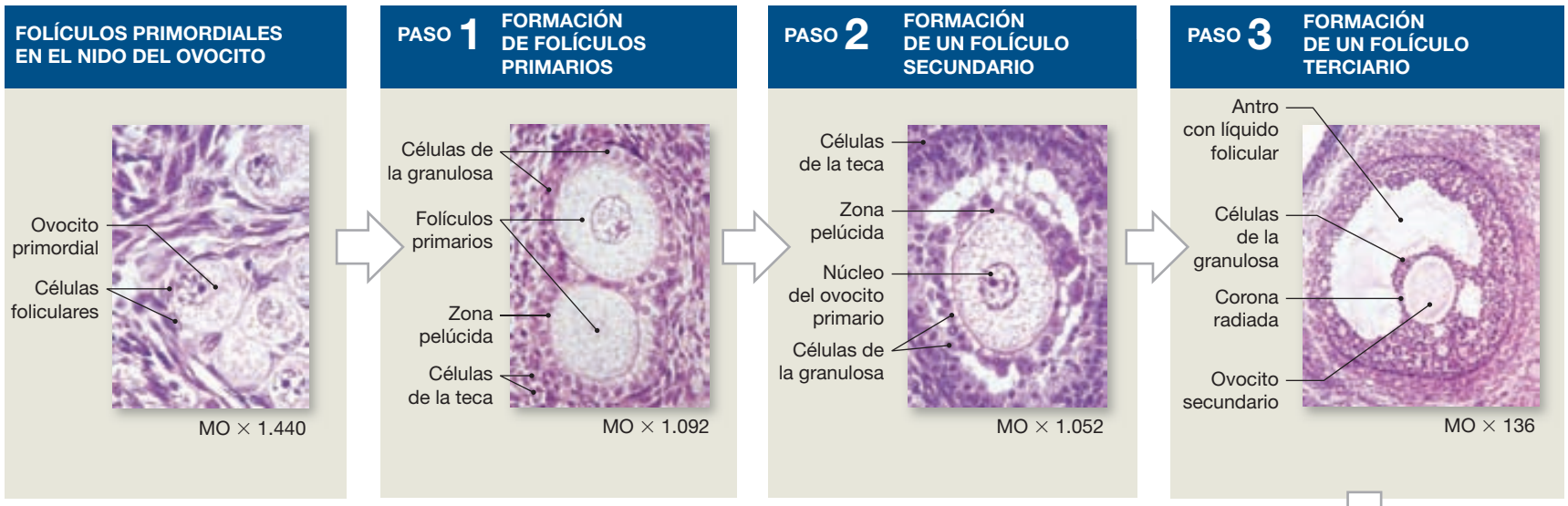


Figura 27.12 Resumen histológico del ciclo ovárico
Desarrollo folicular a lo largo del ciclo ovárico. La *figura 27.13* muestra los acontecimientos nucleares que tienen lugar durante el desarrollo del óvulo (ovogenia).

capas de células foliculares alrededor del ovocito en desarrollo. El engrosamiento paulatino de la pared folicular genera un espacio entre este ovocito y las células foliculares más internas. Esta región, que contiene microvellosidades de las células foliculares y el ovocito, recibe el nombre de **zona pelúcida.** Las células foliculares que aportan nutrientes al ovocito en desarrollo se denominan **células de la granulosa.**

La hormona FSH estimula la transformación de los folículos primordiales en folículos primarios y la maduración folicular posterior. Conforme se hipertrofian y multiplican las células foliculares, las células adyacentes presentes en el estroma ovárico forman una capa de **células de la teca** alrededor del folículo. Las células de la teca y la granulosa cooperan para liberar las hormonas esteroideas conocidas como *estrógenos*. El **estradiol** es el estrógeno más importante y constituye la hormona dominante antes de la ovulación. Los estrógenos juegan varios papeles relevantes, como: 1) estimulación del desarrollo óseo y muscular; 2) mantenimiento de los caracteres sexuales femeninos secundarios; 3) modulación de la actividad del SNC, como las conductas relacionadas con el sexo y el impulso sexual; 4) mantenimiento de la función de las glándulas y los órganos reproductores, y 5) inicio de la reparación y la proliferación del revestimiento uterino.

PASO 2. ***Formación de los folículos ováricos secundarios.*** Aunque muchos folículos primordiales dan lugar a folículos primarios, tan sólo algunos de estos dan lugar a folículos secundarios. El proceso de transformación se pone en marcha cuando la pared del folículo se engrosa y las células foliculares más profundas comienzan a secretar pequeñas cantidades de líquido. Este **líquido folicular** se acumula en pequeños bolsillos que se hipertrofian de forma paulatina y separan a las células de las capas interna y externa del folículo. El complejo recibe el nombre de **folículo secundario** en esta etapa. El ovocito continúa creciendo lentamente, mientras que en el tamaño del folículo aumenta con rapidez como consecuencia de la acumulación de este líquido.

PASO 3. ***Formación de un folículo ovárico terciario.*** Entre 8 y 10 días antes del comienzo del ciclo ovárico, los ovarios suelen contener un folículo secundario solitario que posteriormente se transformará. Hacia los días décimo y decimocuarto del ciclo, este folículo secundario se ha convertido ya en un **folículo terciario,** o **folículo ovárico maduro,** o *folículo de Graaf*, cuyo diámetro es de unos 15 mm. Este complejo atraviesa la corteza y alcanza la pared ovárica, de modo que sobresale en la superficie del ovario. El ovocito se proyecta hacia la cámara central hipertrofiada, o **antro,** y se rodea de una masa de células de la granulosa.

Hasta este momento, el ovocito primario se mantenía en la profase de la primera división meiótica, que ya ha concluido. A pesar de que los sucesos que tienen lugar en el núcleo durante la ovogenia son idénticos a los observados en la espermatogenia, la distribución del citoplasma del ovocito primaria no es homogénea (v. figura 27.13). En lugar de dar lugar dos ovocitos secundarios, la primera división meiótica produce un **ovocito secundario** y un pequeño **cuerpo polar** no funcional. A continuación, el ovocito secundario pasa a la metafase de la segunda división meiótica, que no finalizará hasta después de la fecundación. De producirse esta, concluirá la segunda división meiótica, se producirá un óvulo y un cuerpo polar no funcional. Por tanto, en lugar de generar cuatro gametos de tamaño similar, la ovogenia da lugar a un único óvulo que contiene la mayor parte del citoplasma del ovocito primario y cuerpos polares que se limitan a contener los cromosomas «adicionales».

PASO 4. ***Ovulación.*** Conforme se acerca el momento de liberación del gameto, u **ovulación,** el ovocito secundario y las células foliculares circundantes se desprenden de la pared folicular y flotan libremente en el antro. En teoría, este acontecimiento tiene lugar el día 14 de un ciclo de 28 días. En esta etapa, las células foliculares que rodean al ovocito reciben el nombre de **corona radiada.** La pared del folículo distendido se rompe para liberar sus contenidos, entre los que figura el ovocito, a la cavidad peritoneal. La corona radiada se suele mantener unida a la superficie del ovario a través del pegajoso líquido folicular, de modo que el ovocito pasa a la trompa uterina debido al contacto directo con esta o a las corrientes de líquidos.

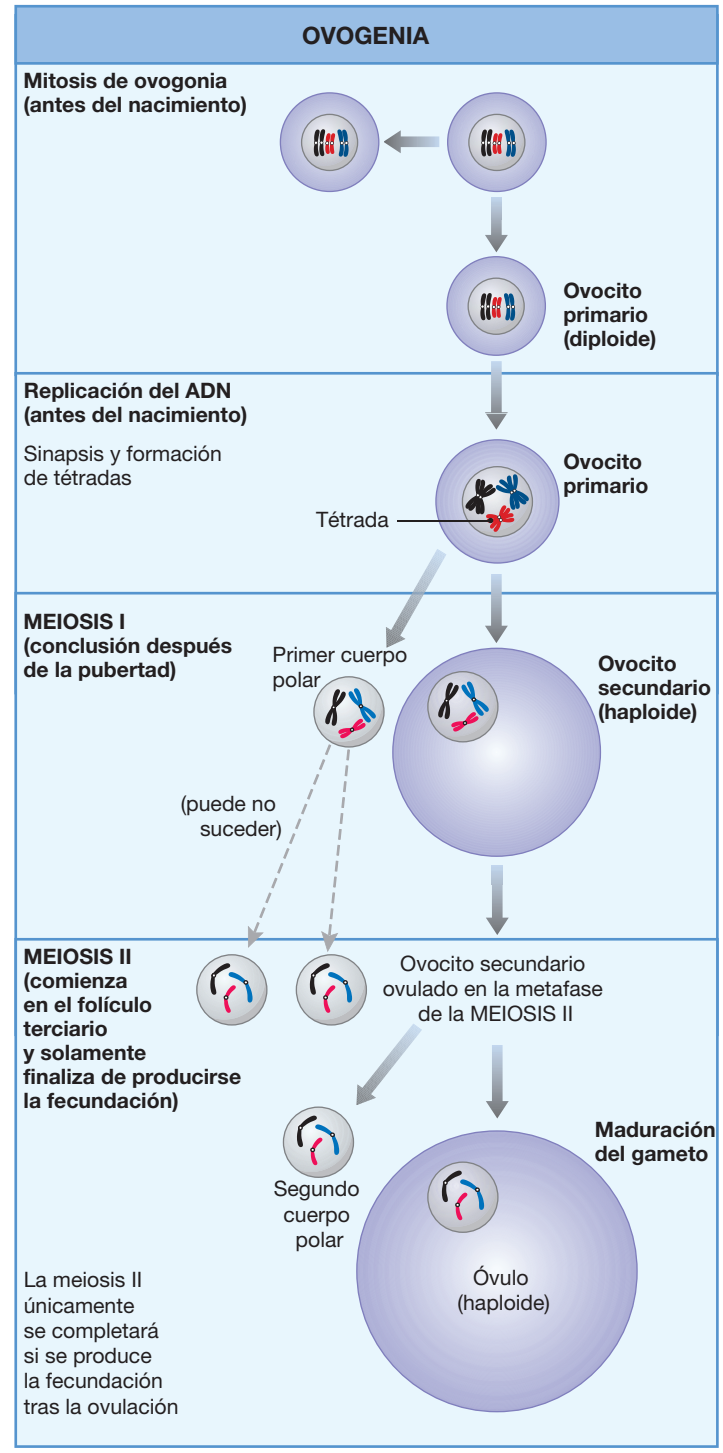

OVOGENIA
Mitosis de ovogonia (antes del nacimiento)
Ovocito primario (diploide)
Replicación del ADN (antes del nacimiento)
Sinapsis y formación de tétradas
Ovocito primario
Tétrada
MEIOSIS I (conclusión después de la pubertad)
Primer cuerpo polar
Ovocito secundario (haploide)
(puede no suceder)
MEIOSIS II (comienza en el folículo terciario y solamente finaliza de producirse la fecundación)
Ovocito secundario ovulado en la metafase de la MEIOSIS II
Maduración del gameto
Segundo cuerpo polar
Óvulo (haploide)
La meiosis II únicamente se completará si se produce la fecundación tras la ovulación

Figura 27.13 **Meiosis y ovulación**

La ovulación es estimulada por un aumento brusco de las concentraciones de LH que debilitan la pared folicular y que coincide con concentraciones máximas de estrógenos sintetizados conforme madura el folículo terciario. La **fase folicular** del ciclo ovárico se define como el período comprendido entre el inicio del ciclo y el final de la ovulación. Esta fase suele durar entre 7 y 28 días.

PASO 5. ***Formación del cuerpo lúteo.*** En un primer momento, el folículo vacío se colapsa y los vasos sanguíneos rotos vacían su contenido en su luz. A continuación, las restantes células foliculares invaden este espacio y proliferan para crear una estructura endocrina de corta vida llamada **cuerpo lúteo** por su color amarillento (*lutea*, amarillo). La hormona LH estimula la formación del cuerpo lúteo.

El organismo utiliza los lípidos del cuerpo lúteo para fabricar unas hormonas esteroideas conocidas como **progestágenos;** el progestágeno más importante es la **progesterona.** Aunque el cuerpo lúteo también secreta pequeñas cantidades de estrógenos, la progesterona constituye la hormona dominante en el período posterior a la ovulación y su función más importante es continuar preparando el útero para un embarazo.

PASO 6. ***Formación del cuerpo blanco.*** La degeneración del cuerpo lúteo comienza unos 12 días después de la ovulación salvo cuando haya tenido lugar la fecundación. Las concentraciones de progesterona y estrógenos registran un acusado descenso y el cuerpo lúteo funcional se ve invadido por fibroblastos que producen un nudo de tejido cicatricial pálido conocido como **cuerpo blanco**. La desintegración, o *involución*, del cuerpo lúteo denota la finalización del ciclo ovárico.

La **fase luteínica** del ciclo ovárico comienza con la ovulación y concluye con la involución del cuerpo lúteo. Su duración suele ser de 14 días. La duración total del ciclo ovárico abarca de 21 a 35 días como consecuencia de la notable variabilidad de la duración de la fase folicular.

La disminución de las concentraciones de progesterona y estrógenos que tiene lugar al final del ciclo estimula la síntesis de la **hormona gonadoliberina (GnRH)** por el hipotálamo, lo que inmediatamente induce el comienzo de un nuevo ciclo ovárico. Esta hormona estimula la producción de FSH y LH por parte del lóbulo anterior de la hipófisis, lo que a su vez estimula otro período de desarrollo folicular.

Los cambios hormonales que forman parte del ciclo ovárico influyen también en las actividades de otros tejidos y órganos del aparato reproductor. En el útero, estos mediadores se ocupan del mantenimiento del *ciclo uterino*, el cual se aborda en una sección posterior.

Edad y ovogenia

Generalmente, un gran número de folículos primordiales se transforma en folículos ováricos primarios y varios de estos dan lugar a folículos secundarios, pero únicamente un folículo secundario pasa a la cavidad pélvica durante la ovulación y los restantes sufren un proceso de atresia. En la pubertad existen unos 200.000 folículos primordiales en cada ovario, aunque 40 años después apenas subsistirán algunos folículos, si acaso, y tan sólo unos 500 se habrán sometido a la ovulación durante ese intervalo.

Trompas uterinas [v. figuras 27.10/27.11/27.14/27.15]

La **trompa uterina** es un tubo muscular hueco de unos 13 cm de longitud (**v. figuras 27.10**, p. 728, **27.11**, p. 729, **27.14** y **27.15**). Se distinguen cuatro regiones en cada trompa:

1. *Infundíbulo:* el extremo más cercano al ovario se dilata en forma de pabellón o **infundíbulo** y posee numerosas proyecciones filiformes conocidas como **fimbrias.** Las células que revisten la supervivencia interna del infundíbulo poseen cilios que se sacuden hacia el segmento intermedio de la trompa, la *ampolla*.
2. *Ampolla:* la **ampolla** representa la porción intermedia de la trompa uterina. El grosor de las capas de músculo liso que forman la pared de la ampolla aumenta paulatinamente conforme se acerca al útero.
3. *Istmo:* La ampolla desemboca en el **istmo,** un corto segmento adyacente a la pared uterina.
4. *Porción uterina:* el istmo se continúa con una **porción uterina** de corta longitud, o *parte intramural*, de la trompa uterina. Esta porción desemboca en la cavidad uterina.

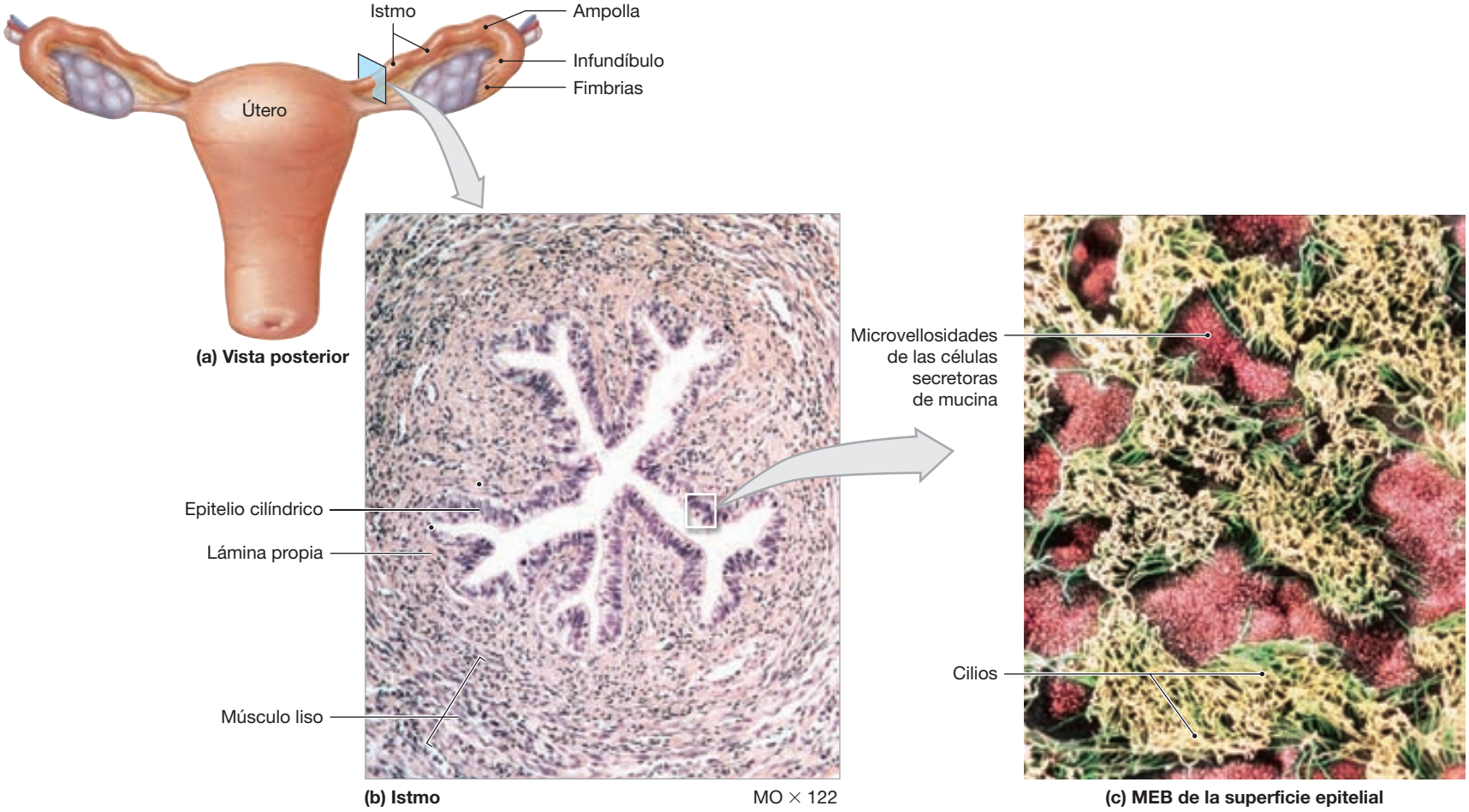


Figura 27.14 Trompas uterinas
(a) Regiones de las trompas uterinas. **(b)** Histología del istmo en un corte transversal. **(c)** MEB coloreada del revestimiento ciliado de la trompa uterina.

Características histológicas de la trompa uterina [v. figura 27.14b,c]

El epitelio que tapiza la trompa uterina se compone de células cilíndricas sencillas ciliadas y no ciliadas (**v. figura 27.14c**). Varias capas concéntricas de músculo liso rodean a la mucosa (**v. figura 27.14b**). La combinación del movimiento ciliar con contracciones peristálticas de las paredes de la trompa uterina hace posible el transporte de material a lo largo de la misma. Pocas horas después de la ovulación, algunos nervios simpáticos y parasimpáticos pertenecientes al plexo hipogástrico «encienden» este patrón de latido. Las trompas transportan al ovocito secundario para su maduración final y su fecundación. El viaje del ovocito desde el infundíbulo hasta la cámara uterina suele requerir entre 3 y 4 días. *Para que tenga lugar la fecundación es preciso que el ovocito se encuentre con un espermatozoide a lo largo de las primeras 12 a 24 horas de este viaje*. Suele tener lugar en la ampolla de la trompa uterina.

Además de la función de transporte del óvulo, la trompa es un entorno muy rico en nutrientes que contiene lípidos y glucógeno, de modo que aporta nutrientes tanto a los espermatozoides como al embrión en desarrollo. Los ovocitos no fecundados degeneran en los segmentos terminales de las trompas uterinas o bien en la cavidad uterina.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cuáles son las funciones de las células foliculares?
2. ¿Por qué podría producir infertilidad la formación de cicatrices en las trompas uterinas?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Útero [v. figuras 27.10/27.11/27.15]

El **útero** confiere protección mecánica al embrión (semanas 1-8) y el feto (semana 9–parto) en desarrollo, además de aportarles nutrientes y eliminar residuos. Por otra parte, las contracciones de la pared muscular del útero desempeñan un destacado papel en la expulsión del feto durante el parto. Las **figuras 27.10,** p. 728, **27.11,** p. 729, y **27.15** incluyen distintas vistas de la posición del útero en la cavidad pélvica y su relación con otros órganos pélvicos.

El útero es un pequeño órgano con forma de pera de unos 7,5 cm de longitud y un diámetro máximo de 5 cm. Su peso es de 30 a 40 g. Normalmente, el útero se curva en sentido anterior cerca de su base en una posición que se conoce como **anteflexión,** en la que el cuerpo uterino se dispone sobre las superficies superior y posterior de la vejiga urinaria (**v. figura 27.10**). La posición recibe el nombre de **retroflexión** cuando se curva en sentido posterior hacia el sacro. La retroflexión, que se observa en el 20% de las mujeres, carece de importancia clínica.

Ligamentos suspensorios del útero [v. figuras 27.11/27.15a]

Además de la cubierta mesentérica del ligamento ancho, tres pares de ligamentos suspensorios fijan la posición del útero y restringen su rango de movimiento (**v. figuras 27.11** y **27.15a**). Los ligamentos **uterosacros** se extienden desde las superficies laterales del útero hasta la superficie anterior del sacro, lo que impide el movimiento del útero en sentido inferior y anterior. Los **ligamentos redondos** se originan en los márgenes laterales del útero inmediatamente por debajo de las bases de las trompas uterinas y se extienden en sentido anterior a través del conducto inguinal hasta alcanzar los tejidos conjuntivos de los genitales externos. Restringen principalmente el movimiento posterior del útero. Los **ligamentos cardinales** transcurren desde la base del útero y la vagina hasta las paredes laterales de la pelvis. De manera similar a los anteriores, estos ligamentos limitan el movimiento inferior del útero. La musculatura estriada y la fascia del suelo pélvico ofrecen un soporte adicional.

Anatomía interna del útero [v. figura 27.15]

El **cuerpo** del útero es la porción más grande del útero (**v. figura 27.15a**). El **fondo** es la parte redondeada que se encuentra por encima del punto de inserción de las trombas uterinas. El **cuello** uterino es la porción inferior que comprende desde el istmo hasta la vagina.

El cuello cilíndrico se proyecta aproximadamente 1,25 cm dentro de la vagina. En este órgano, el extremo distal del cuello se curva para rodear el **orificio externo,** la abertura externa del útero. Este orificio desemboca en el canal cervical, un canal estrechado que desemboca en la **cavidad uterina** del cuerpo en el **orificio interno** o abertura interna (**v. figura 27.15**). La mucosidad del **canal cervical,** que recubre el **orificio externo,** impide la entrada de bacterias pertenecientes a la microflora vaginal hacia este canal. Conforme se acerca el momento de la ovulación, la consistencia de la mucosidad se modifica y se torna más acuosa. Si la mucosidad continuara siendo viscosa, la entrada de los espermatozoides en el útero resultaría dificultosa y podrían ser incapaces de ascender a lo largo de las trompas uterinas, lo que reduciría la posibilidad de éxito de la fecundación. Por este motivo, se pueden incorporar diversos fárma-

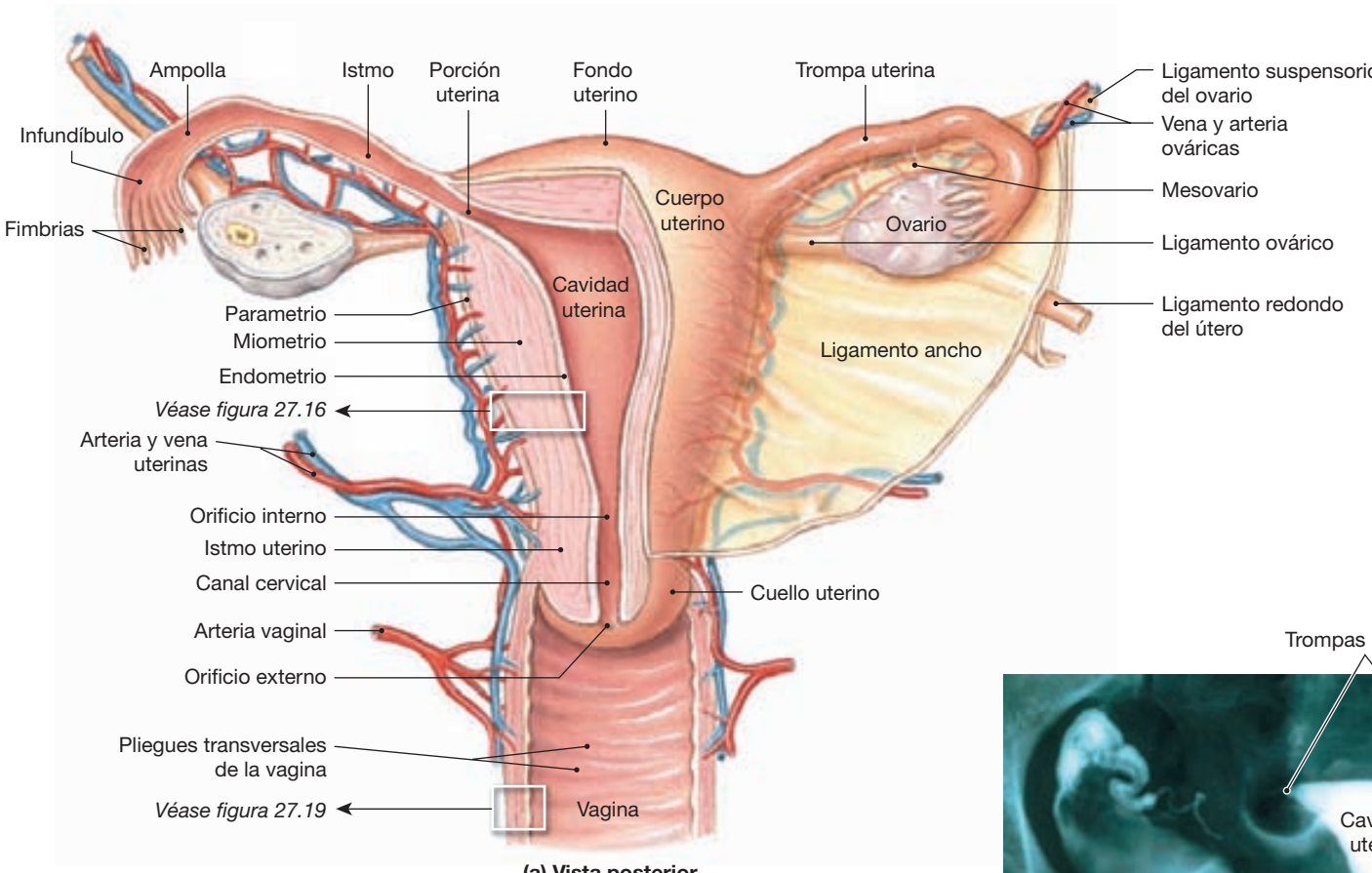
Nota clínica

Cáncer uterino El **cáncer uterino** afecta aproximadamente a seis mujeres por 100.000. En EE. UU. se calcula que en el año 2006 se refirieron unos 40.770 casos nuevos y 8.200 mujeres fallecieron como consecuencia de esta enfermedad. Se distinguen dos tipos de cáncer uterino: 1) *endometrial,* y 2) *cervical.*

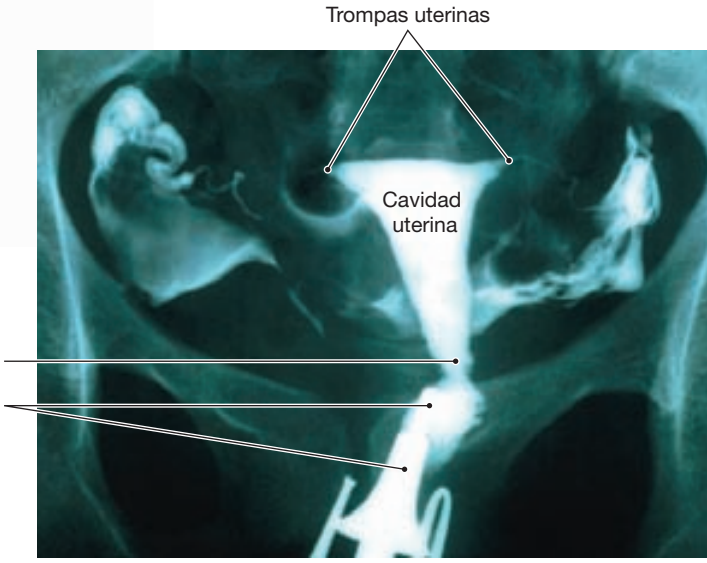
El **cáncer endometrial,** una neoplasia endometrial invasiva, suele afectar a mujeres de edades comprendidas entre los 50 y los 70 años. La utilización de estrógenos como tratamiento de la osteoporosis en mujeres posmenopáusicas aumenta el riesgo de cáncer endometrial entre dos y diez veces. La adición de progesterona a los estrógenos parece dar lugar a una reducción de este riesgo. No se dispone de ninguna prueba perfecta de cribado del cáncer endometrial. El síntoma más frecuente es un sangrado irregular; el diagnóstico suele depender del estudio histológico de una muestra de biopsia endometrial. El tratamiento del cáncer endometrial en estado de inicio consiste en una histerectomía, la cual se acompaña en algunos casos de radioterapia localizada. En los estadios más avanzados, es preciso administrar una radioterapia más agresiva. La quimioterapia no se ha vinculado con resultados satisfactorios frente a esta entidad, de modo que solamente el 30% al 40% de las pacientes obtiene resultados beneficiosos mediante este tratamiento.

El **cáncer cervical** constituye el cáncer más frecuente del aparato genital en mujeres de 15 a 34 años de edad. Aparentemente, el factor de riesgo primario de esta neoplasia son los antecedentes de numerosos compañeros sexuales. Se cree que el tumor se desarrollaría con posterioridad a una infección genital de etiología vírica producida por alguna variante del virus del papiloma humano (VPH), que se transmite por contacto sexual. La mayoría de las afectadas permanece asintomática hasta una fase avanzada de la enfermedad, momento en el que puede debutar con hemorragia vaginal, en particular después del coito, dolor pélvico y secreciones vaginales. El tratamiento de los tumores avanzados se basa en la combinación de radioterapia, **histerectomía** (resección completa o parcial del útero), linfadenectomía y quimioterapia.

La detección precoz representa el elemento clave para lograr reducir la tasa de mortalidad del cáncer cervicouterino. La prueba estándar de cribado es el frotis Pap, que debe su nombre al Dr. George Papanicolau, un anatomopatólogo y citólogo. Las células superficiales del epitelio del cuello uterino suelen desprenderse de forma natural, lo que permite estudiar la presencia de células anómalas o neoplásicas en una muestra de células obtenidas mediante raspado o cepillado de la superficie epitelial. La *American Cancer Society* recomienda comenzar la realización de citologías de triple toma a los 20 y 21 años de edad y posteriormente repetirlas a intervalos de 1 a 3 años hasta los 65 años. El cáncer cervicouterino no invasivo localizado se trata mediante la resección de la porción afectada del cuello uterino.



(a) Vista posterior



(b) Histerosalpingografía

Figura 27.15 El útero
(a) Vista posterior del útero y los ligamentos que lo estabilizan en la cavidad pélvica. **(b)** Imagen de la cavidad uterina y la luz uterina en un histerosalpingograma.

cos con la finalidad de reducir la viscosidad de las secreciones cervicales en el tratamiento de la infertilidad en la mujer.

La irrigación del útero proviene de las ramificaciones de las arterias y las venas uterinas y ováricas. De igual modo, un gran número de vasos linfáticos drena cada porción del útero. Las fibras autónomas del plexo hipogástrico (sistema nervioso central) y los segmentos sacros S_3 y S_4 (sistema nervioso parasimpático) inervan el útero. Las ramas sensoriales aferentes procedentes del útero ingresan en la médula espinal en las raíces dorsales de los nervios raquídeos T_{11} y T_{12}.

Pared uterina [v. figuras 27.15a/27.16]

El tamaño del útero es muy variable. En las mujeres adultas nulíparas en edad fértil, el grosor de la pared uterina se acerca a 1,5 cm. Esta pared posee un **miometrio** (*mio*, músculo + *metra*, útero) muscular externo y un **endometrio** glandular interno o *mucosa*. Una membrana serosa que se continúa con el revestimiento peritoneal recubre el fondo y las superficies anterior y posterior del cuerpo uterino. Esta capa serosa incompleta se llama **parametrio** (v. figuras 27.15a y 27.16).

El endometrio representa aproximadamente el 10% de la masa uterina. En la superficie endometrial desemboca un elevadísimo número de glándulas uterinas, que se profundizan en la lámina propia hasta casi alcanzar el miometrio. Las características de las glándulas, los vasos sanguíneos y el endotelio del útero se modifican a lo largo del *ciclo uterino* mensual como consecuencia de la exposición a distintas concentraciones de estrógeno. Los tejidos glandulares y vasculares del endometrio satisfacen las necesidades fisiológicas del feto en desarrollo.

El miometrio constituye la parte más gruesa de la pared uterina y supone alrededor del 90% de la masa del útero. El músculo liso miometrial se dispone en tres capas: longitudinal, circular y oblicua. Esta musculatura aporta gran parte de la fuerza necesaria para expulsar al feto de considerable tamaño fuera del útero hacia la vagina.

Irrigación uterina [v. figura 27.15a]

El útero recibe su irrigación de las ramas de las **arterias uterinas** (v. figura 17.15a), las cuales proceden de ramas de las arterias ilíacas internas, y las **arterias ováricas,** que surgen de la aorta abdominal por debajo de las arterias renales [p. 588]. Existe un gran número de conexiones entre las arterias que irrigan al útero, lo que garantiza un suministro estable de sangre a este órgano a pesar de los cambios de postura y de la forma uterina que acompañan al embarazo.

Histología uterina [v. figura 27.16]

El endometrio se subdivide en una **capa funcional** interna, la más próxima a la cavidad uterina, y una **capa basal** externa en contacto con el miometrio. La

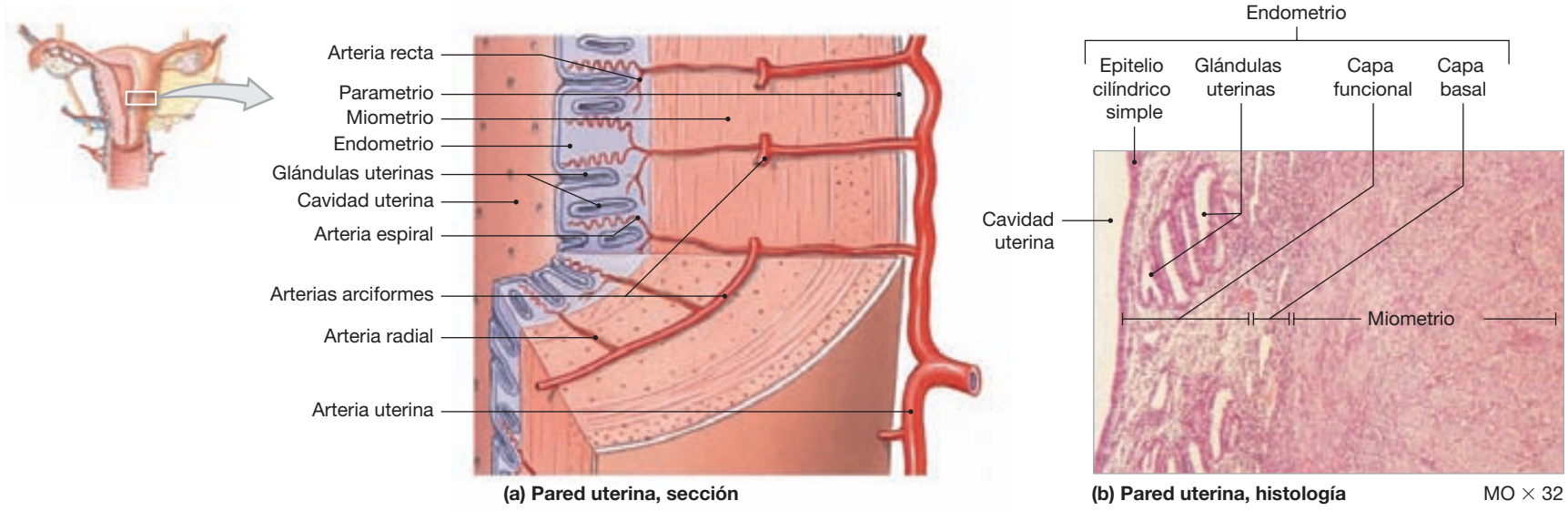


Figura 27.16 Pared uterina
(a) Esquema de la pared uterina en la que se representa el endometrio y la irrigación arterial del mismo. **(b)** Histología básica de la pared uterina.

primera contiene casi todas las glándulas uterinas y es la más gruesa. La segunda conecta el endometrio con el miometrio y recibe las porciones terminales de las glándulas cilíndricas (v. figura 27.16a).

En el interior del miometrio, las arterias uterinas se ramifican para formar las **arterias arciformes** que rodean al endometrio. Las **arterias radiales** surgen de las arciformes y desembocan tanto en las **arterias rectas** que irrigan la capa basal del endometrio como a las **arterias espirales** que irrigan la capa funcional (v. figura 27.16b).

La estructura de la capa basal se mantiene a lo largo del tiempo, mientras que la de la capa funcional sufre cambios cíclicos como respuesta a las concentraciones de las hormonas sexuales. Estas alteraciones dan lugar a los rasgos histológicos típicos del *ciclo uterino*.

Ciclo uterino [v. figuras 27.17/27.18]

El **ciclo uterino,** o *ciclo menstrual*, tiene una duración promedio de 28 días, aunque puede variar entre 21 y 35 en mujeres normales. El ciclo uterino se divide en tres fases: 1) *menstruación*; 2) *fase proliferativa*, y 3) *fase secretora*. En la figura 27.17 se puede visualizar el aspecto histológico del endometrio durante cada una de las fases. Estas fases obedecen a la acción de hormonas asociadas a la regulación del ciclo ovárico (v. figura 27.18).

Menstruación [v. figuras 27.17a/27.18] El ciclo uterino se inicia al comenzar la **menstruación,** un período que se caracteriza por la destrucción total de la capa funcional del endometrio. Las arterias comienzan a estrecharse, lo que reduce la irrigación sanguínea que recibe esta capa, y las glándulas secretoras y los tejidos pertenecientes a la capa funcional se necrosan. Finalmente, las paredes arteriales debilitadas se rompen y la sangre se extravasa hacia los tejidos conjuntivos de dicha capa. Los vasos sanguíneos y los tejidos en proceso de degeneración se desprenden del endometrio y pasan a la luz del útero para salir a la vagina a través del orificio externo. Este desprendimiento de tejidos, que continúa hasta la separación de la totalidad de la capa funcional (v. figura 27.17a), recibe el nombre de **menstruación.** La menstruación suele durar entre 1 y 7 días, a lo largo de los cuales se pierden entre 35 y 50 mL de sangre. La menstruación dolorosa, o **dismenorrea,** puede deberse a la inflamación y la contracción uterinas o bien a la afectación de alguna estructura pélvica adyacente.

La menstruación tiene lugar cuando disminuyen las concentraciones de progestina y estrógeno en la etapa final del ciclo ovárico y continúa en tanto en cuanto no aumenten las concentraciones de estrógeno como consecuencia del desarrollo de un nuevo grupo de folículos (v. figura 27.18).

Fase proliferativa [v. figuras 27.17b/27.18] La capa basal, de la que forman parte las porciones basales de las glándulas uterinas, se conserva durante la menstruación gracias al mantenimiento de su vasculatura. A lo largo de los días posteriores a la conclusión de la menstruación, las células epiteliales de las glándulas expuestas a estrógenos circulantes se multiplican y diseminan en la superficie endometrial, lo que regenera el epitelio uterino (v. figura 27.17b). La capa funcional termina de renovarse mediante las ulteriores proliferación y vascularización. Se dice que el endometrio se encuentra en la **fase proliferativa** durante esta etapa de renovación. La reorganización tiene lugar de manera simultánea al desarrollo de los folículos primarios y secundarios en el ovario. Los estrógenos secretados por estos folículos estimulan y sustentan la fase proliferativa (v. figura 27.18).

El grosor de la capa funcional habrá alcanzado varios centímetros para cuando se produzca la siguiente ovulación y las glándulas mucosas prominentes se extienden hasta el límite de la capa basal. En esta fase, las glándulas sintetizan mucosidad que contiene abundante glucógeno. La capa funcional está muy vascularizada y las arterias de pequeño calibre se dirigen siguiendo una trayectoria en espiral hacia la superficie interna desde ramas de mayor calibre incluidas en el miometrio.

Fase de secreción [v. figuras 27.17c/27.18] Durante la fase de secreción del ciclo uterino, las glándulas endometriales se dilatan y se acelera el ritmo de secreción, y las arterias se alargan y adoptan una disposición contorneada a través de los tejidos de la capa funcional (v. figura 27.17c). Los estrógenos y la progesterona generadas por el cuerpo lúteo estimulan de forma conjunta estos fenómenos (v. figura 27.18). Esta etapa se pone en marcha en el momento de la ovulación y continúa en tanto en cuanto se mantenga la integridad del cuerpo lúteo.

Las actividades de secreción alcanzan una intensidad máxima unos 12 días después de la ovulación. La actividad glandular disminuye a lo largo del primer o segundo días siguientes y el ciclo uterino concluye cuando cesa la síntesis de hormonas estimuladoras por parte del cuerpo lúteo. A partir de ese momento se inicia un nuevo ciclo al comenzar la menstruación y desintegrarse una vez más la capa funcional. La fase secretora suele durar 14 días, lo que permite calcular la fecha de la ovulación al contar en sentido inverso 14 días a partir del primer día de la menstruación.

Menarquia y menopausia La actividad cíclica uterina se pone en marcha en el momento de la **menarquia,** o primer ciclo uterino en la pubertad, por lo

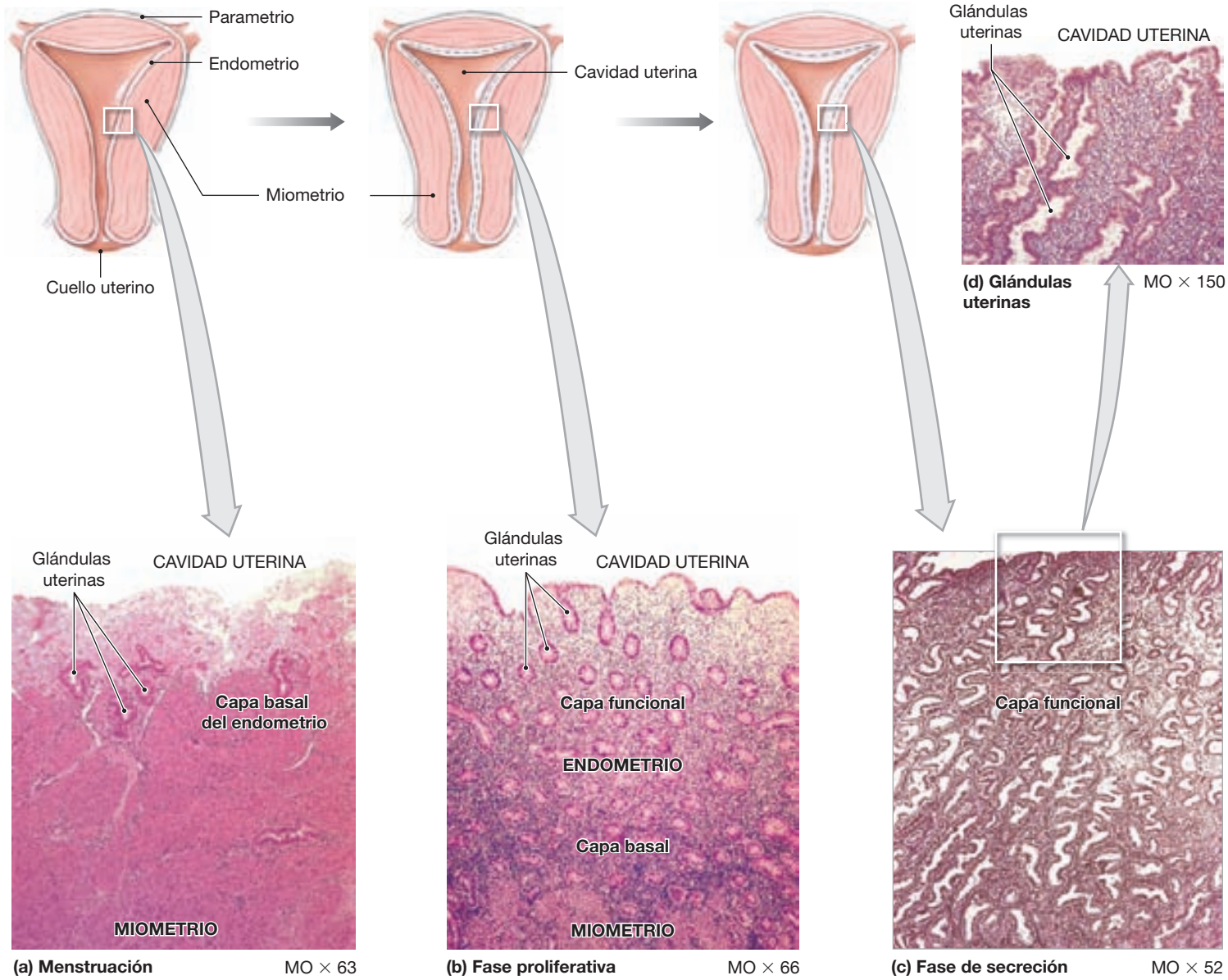


Figura 27.17 Cambios histológicos que acompañan al ciclo uterino
(a) Menstruación. **(b)** Fase proliferativa. **(c)** Fase de secreción. En esta etapa, el grosor de la capa funcional es de tal magnitud que un aumento similar al de las imágenes (a) o (b) no permite visualizar la totalidad del espesor endometrial en una sola imagen. **(d)** Detalle de las glándulas uterinas.

general entre los 11 y los 12 años de edad. Los ciclos se suceden hasta los 45 a 55 años cuando tiene lugar el último ciclo uterino, la **menopausia.** A lo largo del período que transcurre entre ambas fechas, la aparición regular de los ciclos uterinos tan sólo se interrumpe debido a situaciones especiales, como una enfermedad, estrés, inanición o embarazo. Normalmente, los dos primeros años tras la menarquia y los 2 años anteriores a la menopausia se distinguen por la irregularidad de los ciclos.

Vagina [v. figuras 27.10/27.11a]

La *vagina* es un tubo muscular elástico que ocupa el espacio comprendido entre el cuello uterino hasta el *vestíbulo vaginal*, un espacio limitado por los genitales externos (**v. figuras 27.10,** p. 728, y **27.11a,** p. 729). La longitud media de la vagina es 7,5 a 9 cm, aunque su longitud y anchura son muy variables debido a su notable distensibilidad.

El cuello uterino se proyecta hacia la cavidad **vaginal** en el extremo proximal de este órgano. El bolsillo poco profundo que rodea a la prominencia cervical se conoce como **fondo de saco vaginal.** La vagina se dispone en una posición paralela al recto, de modo que las superficies posteriores de ambas estructuras se encuentran en estrecho contacto. La uretra transcurre sobre la pared superior de la vagina en su recorrido entre la vejiga urinaria y el vestíbulo.

Las **ramas vaginales** de las arterias y las venas ilíacas (o uterinas) internas constituyen la fuente principal de irrigación de la vagina, la cual recibe su inervación del plexo hipogástrico, los nervios sacros S2-S4 y las ramas del nervio pudendo.

La vagina desempeña tres funciones primordiales:

- Actúa como canal para la salida de las secreciones propias de la menstruación.
- Recibe al pene durante el coito y alberga a los espermatozoides que posteriormente pasarán al útero.
- Configura la porción de mayor longitud del canal del parto a través del cual se expulsa al feto durante el parto.

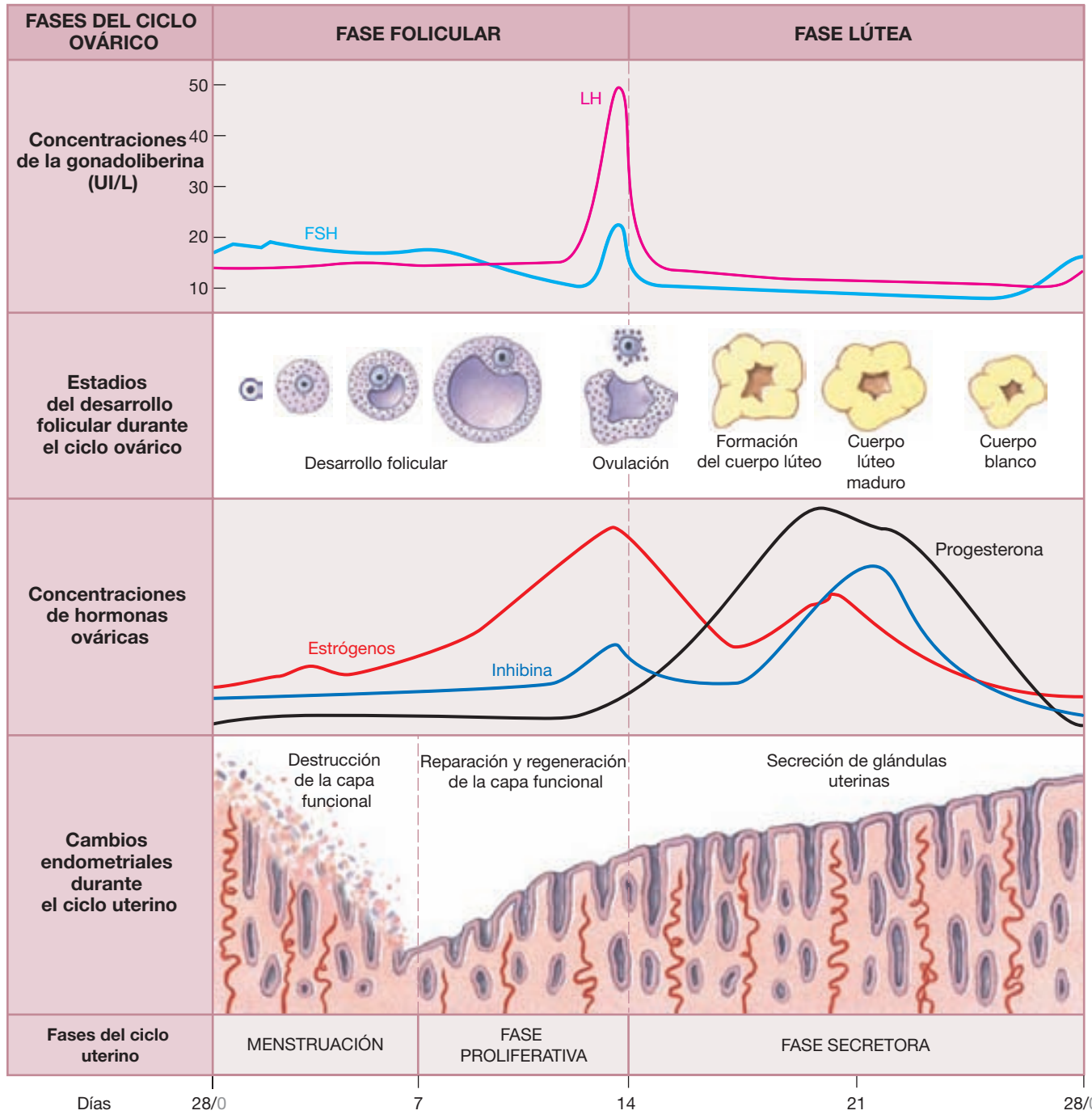


Figura 27.18 **Regulación hormonal de la función reproductora femenina**

Histología vaginal [v. figuras 27.15a/27.19/27.20b]

Observada en un corte transversal, la luz de la vagina aparece constreñida y adopta una morfología similar a la de la letra H. La pared vaginal posee una red de vasos sanguíneos y varias capas de músculo liso (**v. figuras 27.15a** y **27.19**); las secreciones de las glándulas cervicales y el movimiento de agua sobre el epitelio permeable lubrican su revestimiento. Un pliegue epitelial elástico, el **himen,** que puede restringir o impedir por completo el acceso a la vagina, separa esta cavidad del vestíbulo. A ambos lados del orificio vaginal se disponen sendos músculos bulboesponjosos que lo estrechan al contraerse. Estos músculos recubren los *bulbos vestibulares*, unas masas de tejido eréctil que se encuentran a ambos lados del orificio vaginal (**v. figura 27.20b**). Desde el punto de vista ontogénico, los bulbos vestibulares proceden de los mismos tejidos embrionarios que el cuerpo esponjoso del hombre (v. «Resumen de embriología» en el capítulo 28). Se considera que los bulbos vestibulares y el cuerpo esponjoso son homólogos (*homo*, mismo + *logos*, relación) debido a sus semejanzas estructurales y ontogénicas; no obstante, las estructuras homólogas pueden desempeñar funciones muy distintas.

La luz vaginal está tapizada de un epitelio escamoso estratificado (**v. figura 27.19**) que se encuentra replegado en estado relajado formando pliegues transversales *(rugae)* (**v. figura 27.15a**). La lámina propia subyacente es una espesa capa elástica que contiene vasos sanguíneos de pequeño calibre, nervios y vasos linfáticos. Una *capa muscular* elástica rodea a la mucosa vaginal, cuyas fibras de músculo liso se disponen en haces que se continúan con el miometrio uterino. La parte de la vagina más próxima al útero está cubierta de una capa serosa que se continúa con el peritoneo pélvico. La capa muscular que recubre la vagina se rodea de una *capa adventicia* de tejido conjuntivo fibroso.

La vagina alberga una microflora normal de bacterias residentes que se nutren de las moléculas presentes en la mucosidad cervical. El metabolismo de estos microorganismos genera un entorno ácido que limita la proliferación de numerosos patógenos. Igualmente, el ambiente ácido inhibe la movilidad de

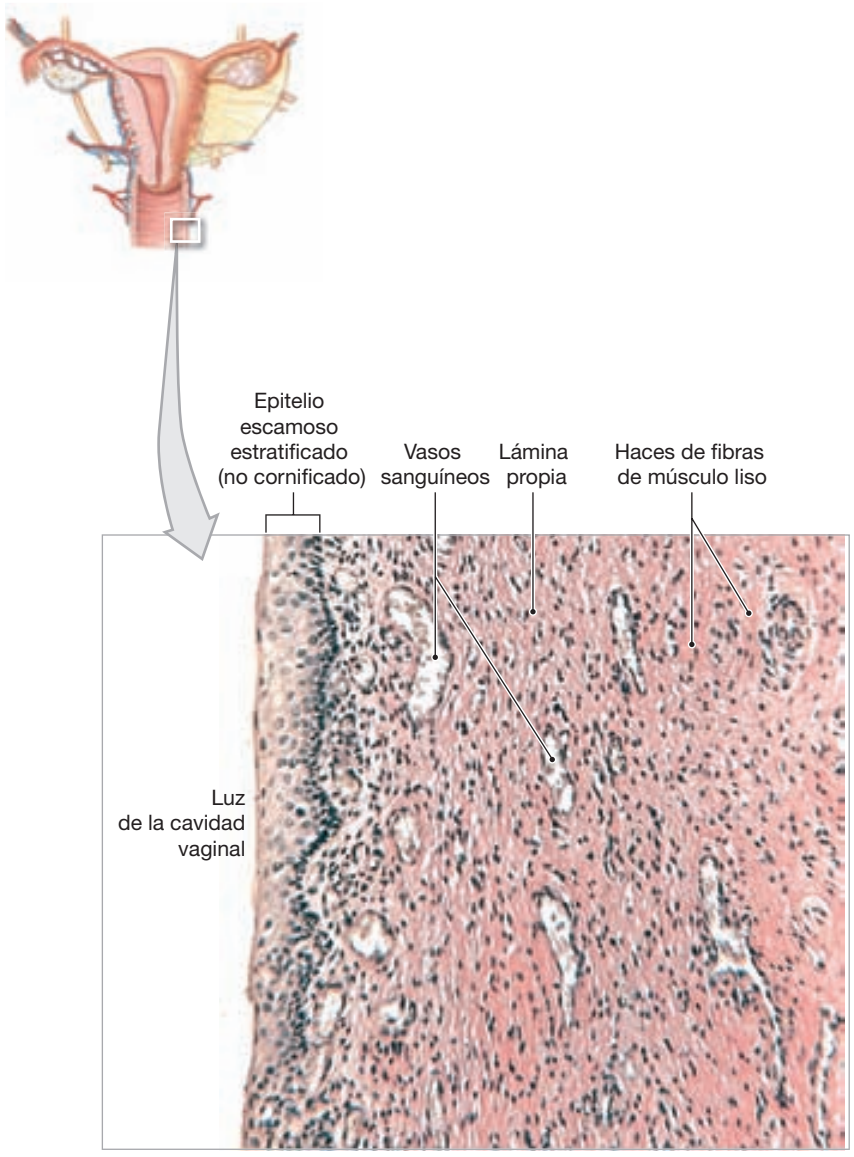


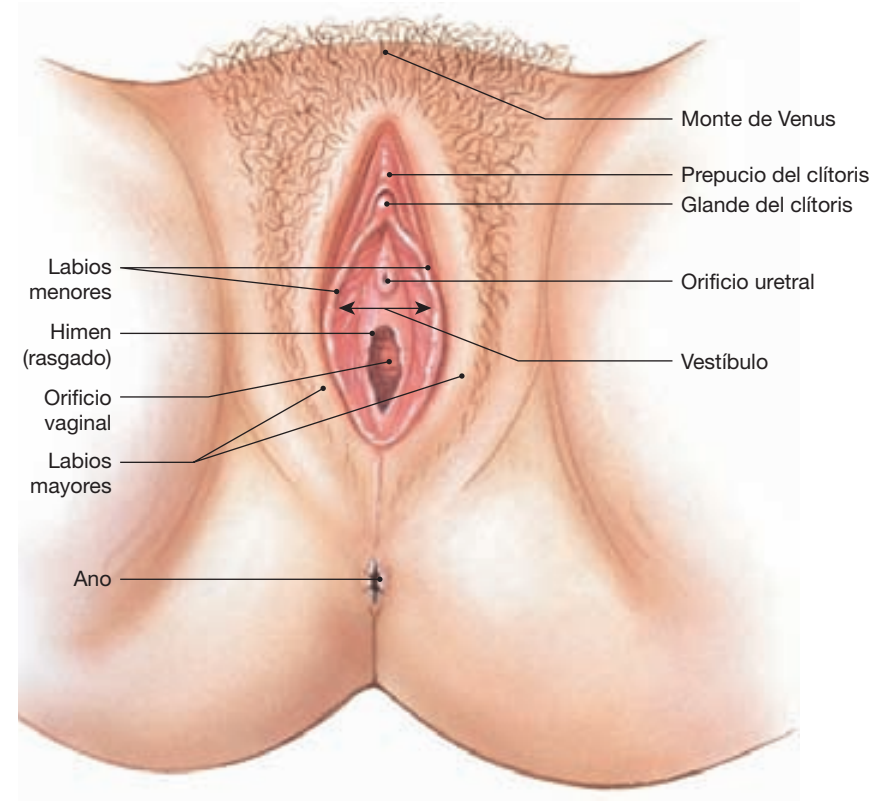
Figura 27.19 **Histología de la pared vaginal**

los espermatozoides, por lo que los tampones que forman parte del líquido seminal juegan un papel destacado en el éxito de la fecundación.

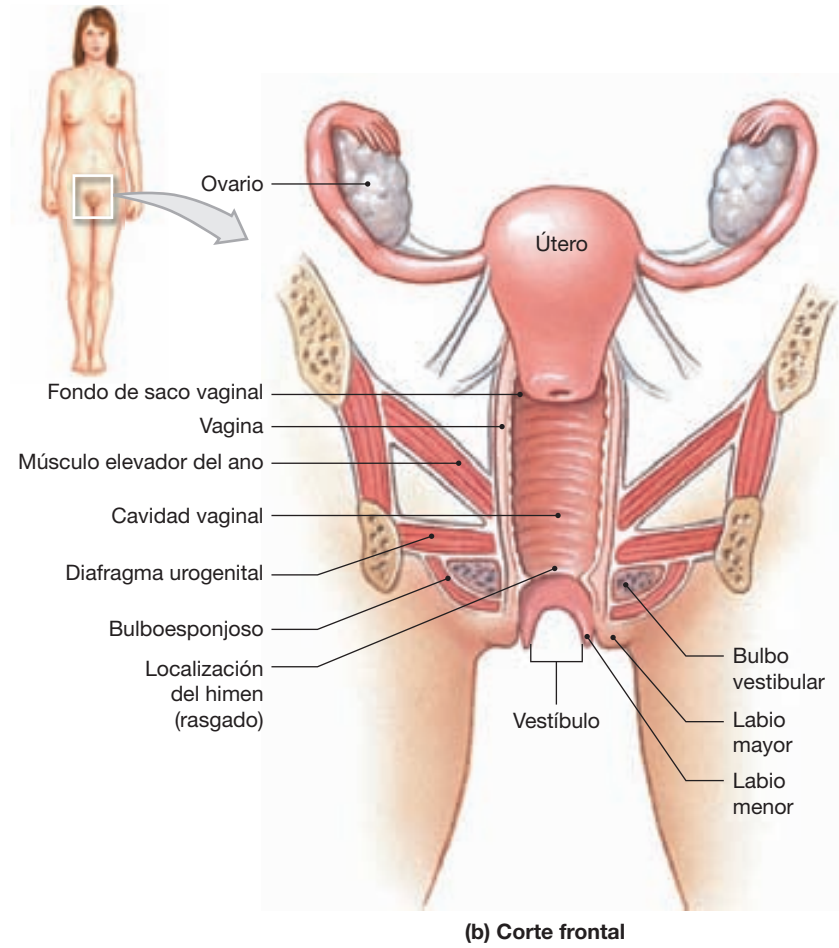
Genitales externos [v. figuras 27.10a/27.20a]

El área en la que se localizan los genitales externos se conoce como **vulva** o *partes pudendas* (v. figura 27.20a). La vagina desemboca en el **vestíbulo vaginal,** un espacio central delimitado por los **labios menores,** los cuales se recubren de una epidermis lisa y carente de vello. La uretra desemboca en el vestíbulo inmediatamente por delante del orificio vaginal. Las **glándulas parauretrales,** o *glándulas de Skene,* liberan sus secreciones en la uretra en la proximidad del orificio uretral externo. El **clítoris,** situado en una posición anterior respecto a este orificio, se proyecta hacia el vestíbulo. Este órgano contiene tejido eréctil que se considera homólogo al de los cuerpos cavernosos del hombre (v. «Resumen de embriología» en el capítulo 28). El clítoris se rellena de sangre como consecuencia de la excitación sexual. En la parte superior de este órgano se halla un pequeño glande eréctil y los labios menores recubren el cuerpo del clítoris para crear el **prepucio,** o *capucha*.

Unas glándulas vestibulares de tamaño menor y número variable liberan sus secreciones en la superficie expuesta del vestíbulo para mantenerlo hidratado. Durante la excitación sexual, los productos de las **glándulas vestibulares mayores** *(glándulas de Bartholin)* se secretan al vestíbulo



(a) Vista inferior



(b) Corte frontal

Figura 27.20 **Genitales femeninos externos**
(a) Vista inferior del perineo femenino. **(b)** Esquema de un corte frontal en el que se muestran las posiciones relativas de las estructuras reproductoras internas y externas.

a través de un par de conductos en las inmediaciones de los bordes posterolaterales del orificio vaginal (v. figura 27.10a, p. 728). Estas glándulas mucosas son semejantes a las glándulas bulbouretrales presentes en el hombre.

El *monte de Venus* y los *labios mayores* definen los límites externos de la vulva. La prominencia del **monte de Venus** se compone de tejido adiposo subyacente a la epidermis anterior a la sínfisis púbica. Asimismo, este tejido adiposo se acumula en los carnosos labios mayores, unas estructuras homólogas al escroto en el aparato reproductor masculino. Los labios mayores rodean y ocultan, en parte, a los labios menores y otras estructuras vestibulares. Los bordes externos de los labios mayores están cubiertos del mismo vello grueso que recubre el monte de Venus, si bien sus superficies internas carecen en gran medida del mismo. Diversas glándulas sebáceas y glándulas sudoríparas apocrinas diseminadas secretan en la superficie interna de los labios mayores para humedecerlos y lubricarlos.

Resumen de embriología

Para un resumen del desarrollo del aparato reproductor femenino, véase el capítulo 28, «Embriología y desarrollo humano».

Glándulas mamarias [v. figura 27.21]

El recién nacido no puede defenderse por sí mismo y aún no ha concluido el desarrollo de varios sistemas orgánicos clave. A lo largo del período inicial de adaptación a la vida libre, el lactante se alimenta de leche secretada por las **glándulas mamarias** maternas. La secreción de leche, o **lactancia,** tiene lugar en las glándulas mamarias de las mamas, unos órganos accesorios especializados pertenecientes al aparato reproductor femenino.

Las glándulas mamarias se localizan a ambos lados del tórax en el tejido subcutáneo de la **almohadilla grasa pectoral** por debajo de la piel (v. figura 27.21a,b). Cada mama está dotada de una proyección cónica de pequeño tamaño, el **pezón,** a través del cual desembocan los conductos de las glándulas mamarias subyacentes en la superficie corporal. La zona delimitada que exhibe una pigmentación rojizo-amarronada que rodea a cada pezón recibe el nombre de **aréola**. La presencia de glándulas sebáceas grandes en la dermis confiere una textura granular a la superficie de esta zona.

El tejido glandular de la mama se compone de diversos lóbulos independientes, cada uno de los cuales contiene varios segmentos secretores (v. figura 27.21a). Los conductos que drenan los lóbulos convergen para formar un único **conducto galactóforo** en cada lóbulo (v. figura 27.21a,c,d). El conducto galactóforo se dilata antes de desembocar en el pezón para originar una cámara, el **seno galactóforo.** Normalmente, en la superficie de cada pezón desembocan entre 15 y 20 senos galactóforos. El sistema de conductos está inmerso en tejido conjuntivo denso, el cual forma tabiques que dividen a los lóbulos y los lobulillos. Estas bandas de tejido conjuntivo, conocidas como **ligamentos suspensorios de la mama,** parten de la dermis de la piel situada por encima de ellos. El complejo mamario se separa del músculo pectoral subyacente por medio de una capa de tejido conjuntivo laxo. La irrigación de cada mama proviene de ramas de la arteria torácica interna [p. 583]. En el capítulo 23 se describe el drenaje linfático de la glándula mamaria [p. 620].

Desarrollo de las glándulas mamarias durante el embarazo [v. figura 27.21c,d]

En la figura 27.21c,d se compara la organización histológica de las glándulas mamarias inactivas y activas. En la glándula mamaria en reposo predomina un sistema de conductos en lugar de células glandulares activas. El tamaño de la mama en una mujer no gestante refleja fundamentalmente la cantidad de tejido adiposo de la mama, pero no el volumen de tejido glandular de la misma. El aparato secretor no se desarrolla hasta el embarazo.

El desarrollo ulterior de las glándulas mamarias depende de la influencia de varias hormonas, como prolactina (PRL) y somatostatina (GH), que fabrica la hipótesis anterior [p. 513]. La estimulación por estas hormonas, junto al **lactógeno placentario humano (HPL)** sintetizado por la placenta, activa procesos de mitosis en la glándula mamaria que dan lugar a nuevas células glandulares. El desarrollo mamario se ha completado hacia el final del sexto mes de embarazo y las mamas comienzan a producir secreciones que se almacenan en el sistema de conductos. La leche se libera cuando el neonato succiona el pezón, lo que estimula la liberación de oxitocina por la hipófisis posterior. Esta hormona induce la contracción del músculo liso de las paredes de los conductos y los senos galactóforos con el fin de expulsar la leche.

Nota clínica

Cáncer de mama El cáncer de mama es la principal causa de mortalidad en mujeres de edades comprendidas entre 40 y 59 años. En términos generales, la incidencia del cáncer de mama tiende a aumentar a partir de los 50 años. En EE. UU. se registran alrededor de 212.000 nuevos casos cada año. Se calcula que una de cada ocho mujeres estadounidenses padecerá cáncer de mama en algún momento de su vida. La incidencia de esta neoplasia maligna es mayor en mujeres caucásicas, ligeramente menor en mujeres afroamericanas, y más baja en mujeres asiáticas o indias estadounidenses. Algunos factores de riesgo destacados son:

1. Antecedentes familiares de cáncer de mama.
2. Embarazo después de los 30 años.
3. Menarquia (primer período menstrual) temprana.
4. Menopausia (último período menstrual) tardía.

Aunque se han realizado numerosos estudios sobre estos aspectos, no se ha logrado establecer relación alguna entre el cáncer de mama y la utilización de anticonceptivos orales, el tratamiento con estrógenos, la lactancia natural, ni el consumo de grasas o alcohol. En el desarrollo de esta neoplasia interviene un gran número de factores; aunque la mayor parte de las mujeres no se ve afectada por esta enfermedad, la probabilidad de desarrollar esta neoplasia es mayor en aquellas con antecedentes familiares.

La detección precoz del cáncer de mama reviste una enorme importancia para lograr reducir la tasa de mortalidad asociada a esta entidad. La mayoría de los tumores se detecta durante la autoexploración, aunque se identifican con una frecuencia cada vez mayor en las pruebas de cribado clínico. En el estudio de las mamas mediante la **mamografía** se utilizan rayos X; se puede reducir la dosis de radiación dado que solamente ha de atravesar tejidos blandos. Esta prueba permite visualizar mejor el estado de los tejidos mamarios (v. figura 27.21b). Igualmente, la ecografía puede aportar información adicional, aunque las imágenes obtenidas no son tan detalladas como las mamográficas convencionales.

La detección del tumor en un estadio en el que sea poco extenso y se encuentre aumenta la probabilidad de éxito del tratamiento. Los tumores de diámetro mayor de 2 cm se asocian a unas tasas de supervivencia a largo plazo más bajas. De igual modo, la diseminación tumoral a los ganglios linfáticos de axilas se vincula con un pronóstico desfavorable. En ausencia de afectación linfática, la probabilidad de supervivencia a 5 años ronda el 82%; sin embargo, esta cifra desciende al 21% cuando existe afectación de cuatro o más ganglios.

El tratamiento del cáncer de mama se inicia con la resección tumoral y la obtención de muestras de los ganglios linfáticos axilares. La diseminación de las células tumorales suele comenzar antes de la elaboración de este diagnóstico, por lo que el tratamiento quirúrgico implica la resección de una parte o la totalidad de la mama afectada. La cirugía puede complementarse con quimioterapia, radioterapia y hormonoterapia.

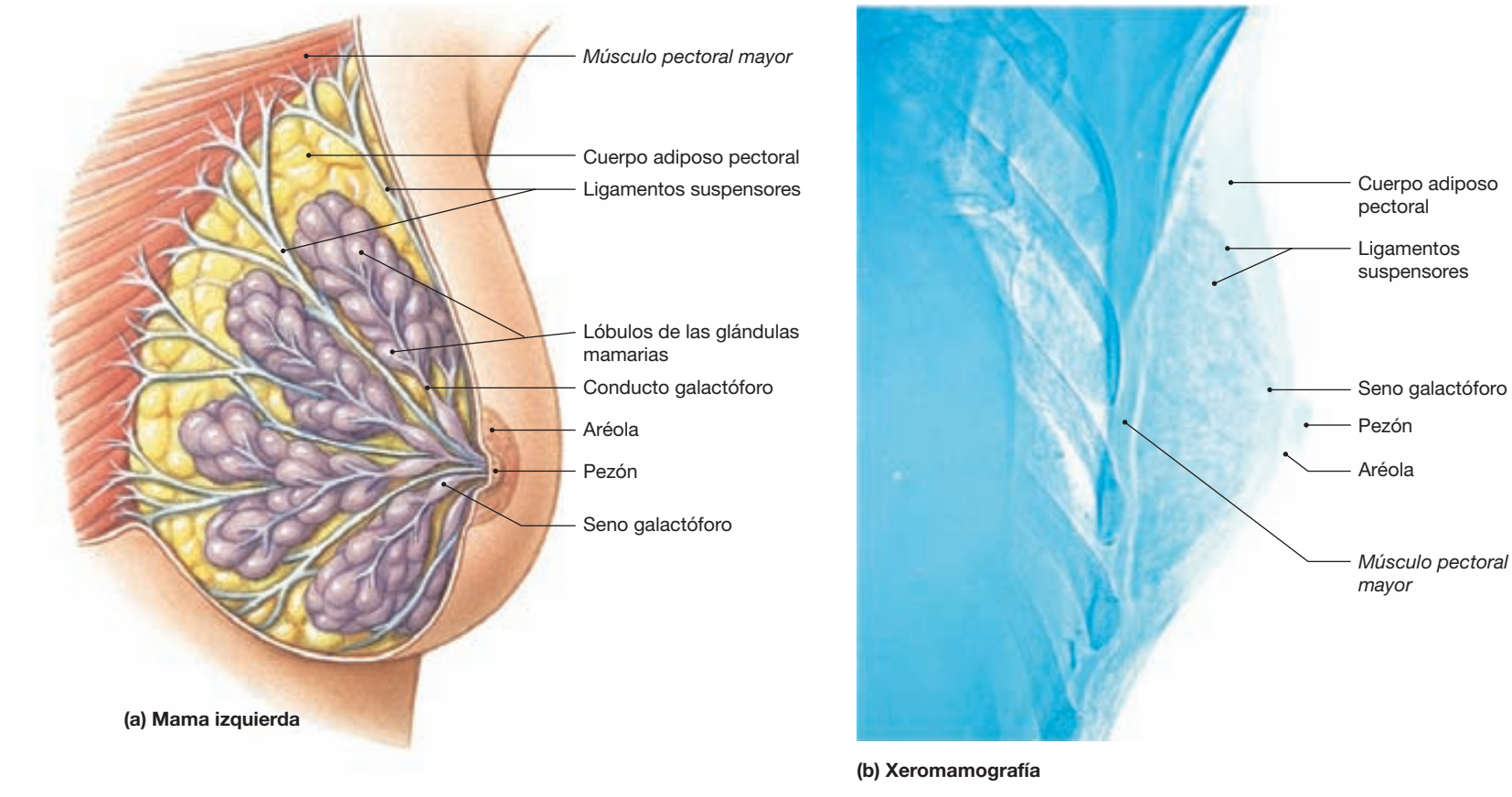


Figura 27.21 Glándulas mamarias
(a) Anatomía macroscópica de la mama. **(b)** Xeromamografía, una técnica radiológica que permite visualizar detalladamente la mama, vista mediolateral. **(c, d)** Comparación histológica de las glándulas mamarias en reposo y activas.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué actividades tienen lugar en el ciclo ovárico durante la fase proliferativa del ciclo uterino?
2. ¿Qué acontecimiento define el comienzo de la fase de secreción?
3. ¿Impediría la obstrucción de un único seno galactóforo la llegada de leche al pezón? Explique su respuesta.
4. ¿Qué hormonas estimulan la lactancia?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Embarazo y aparato reproductor femenino

Tras la fecundación, el cigoto (óvulo fecundado) sufre una serie de divisiones para transformarse en una masa hueca de células denominada **blastocisto.** Al acceder a la cavidad uterina, el blastocisto libre se alimenta mediante la absorción de las secreciones de las glándulas uterinas. Después de varios días, entra en contacto con la pared endometrial, erosiona su epitelio y anida en el endometrio. Este proceso, la **implantación,** pone en marcha una serie de acontecimientos que darán lugar a un órgano especial, la **placenta,** que sustentará el desarrollo embrionario y fetal a lo largo de los 9 meses posteriores.

La placenta constituye un medio para la transferencia de gases disueltos, nutrientes y residuos entre los torrentes circulatorios fetal y materno. Asimismo, actúa como órgano endocrino a través de la síntesis de hormonas. La hormona **gonadotropina coriónica humana (HCG)** se detecta en la circulación materna poco después de la implantación. La presencia de esta molécula en muestras de sangre u orina se considera una indicación fiable de embarazo. La función de la HCG es similar a la de la LH, de modo que el cuerpo lúteo no degenera en su presencia. De lo contrario, se pondría punto final al embarazo como consecuencia de la desintegración del endometrio.

En presencia de HCG, el cuerpo lúteo persiste unos 3 meses antes de desaparecer. Su destrucción no induce de nuevo el período menstrual, ya que la placenta ha comenzado ya a secretar de manera activa estrógeno y progesterona. A lo largo de los siguientes meses, la placenta fabrica también otras dos hormonas: **relaxina,** que potencia la flexibilidad de la pelvis y promueve la dilatación del cuello uterino durante el parto, y el **lactógeno placentario humano,** que facilita la preparación de las glándulas mamarias para la lactancia.

Envejecimiento y aparato reproductor

El proceso de envejecimiento influye en los aparatos reproductores masculino y femenino. Las alteraciones más llamativas del aparato genital femenino relacionadas con la edad se registran durante la menopausia, mientras que los cambios en el aparato reproductor masculino se desarrollan de manera paulatina a lo largo de un período más prolongado.

Menopausia

La menopausia se define como el momento en el que se interrumpen la ovulación y la menstruación. Suele producirse entre los 45 y los 55 años de edad, aunque la regularidad de los ciclos ováricos y menstruales disminuye de forma gradual a lo largo de los años anteriores. La **menopausia prematura** es aquella que tiene lugar antes de los 40 años de edad y suele obedecer a la escasez de folículos primordiales. La menopausia se acompaña de un aumento súbito y prolongado de la síntesis de GnRH, FSH y LH, así como de una disminución de las concentraciones circulantes de estrógeno y progesterona. El descenso de las primeras provoca: 1) una reducción del tamaño uterino; 2) una reducción del tamaño de las mamas; 3) un adelgazamiento de las paredes uretrales y vaginales, y 4) debilitamiento del tejido conjuntivo que sostiene los ovarios, el útero y la vagina. Las concentraciones más bajas de estrógenos se han relacionado, asimismo, con el desarrollo de osteoporosis y diversas complicaciones cardiovasculares y neurológicas, como sofocos, ansiedad y depresión.

Climaterio masculino

Los cambios que tienen lugar en el aparato genital masculino se suceden de manera más gradual a lo largo de un período denominado el **climaterio masculino**. Las concentraciones séricas de testosterona comienzan a disminuir entre los 50 y los 60 años de edad, al tiempo que se incrementan las concentraciones séricas de FSH y LH. La producción de espermatozoides se mantiene (los hombres pueden procrear incluso después de los 80 años de edad), aunque se observa una reducción paulatina de la actividad sexual en los hombres de mayor edad, lo que podría vincularse con las menores concentraciones de testosterona. En la actualidad, algunos médicos proponen la administración de un tratamiento de reposición de testosterona encaminado a potenciar la libido (impulso sexual) en la tercera edad.

Caso clínico

APARATOS URINARIO Y REPRODUCTOR

¿ES NORMAL EN UNA PERSONA DE MI EDAD?

Eleanor, una viuda de 88 años madre de dos hijos, acude a su clínica de RediMed una tarde de domingo. Su médico de familia se jubiló hace unos meses y todavía no tiene un médico «habitual», por lo que Eleanor decidió acudir a la clínica. La paciente destaca los siguientes síntomas al médico de guardia:

- Percibe una urgencia cada vez mayor de orinar y una incapacidad «leve» para controlar la micción.
- Presenta episodios recurrentes de dolor al orinar.
- Refiere dolor de espalda que no responde al consumo de analgésicos de venta libre.
- Refiere antecedentes de una mastectomía radical.
- Padece hipertensión leve, para la cual recibe un tratamiento regular.

La paciente rechaza someterse a una exploración pélvica debido a su falta de confianza con el médico y la vergüenza.

Exploración inicial

El médico de guardia observa lo siguiente:

- Presión arterial, en presencia de tratamiento, de 145/92.
- El estudio de la orina mediante la tira reactiva indica signos químicos de leucocitos.
- La paciente refiere «dolor de espalda» leve localizado en las regiones de las costillas 11 e inferiores en el lado izquierdo y las costillas 12 e inferiores en el derecho.

El médico comenta a Eleanor que la incapacidad de controlar el esfínter urinario es relativamente frecuente en los ancianos, al igual que las infecciones del tracto urinario. A continuación, le informa que presenta una infección del tracto urinario. Receta una sulfamida y le recomienda que escoja un médico de familia para someterse a una exploración física completa.

Dos semanas después, el dolor reaparece. Además, los síntomas son más intensos y apenas han variado desde la visita anterior. Mary, la nuera de Eleanor, le recomienda que pida cita con su ginecóloga. Eleanor accede y Mary obtiene una cita.

Exploración de seguimiento

Eleanor informa a la ginecóloga de los hallazgos del médico que la atendió en la clínica de RediMed y aporta nuevos datos:

- Cada vez que tose, estornuda o carga con algún objeto ligero como una bolsa con alimentos, no puede evitar «orinarse». Este problema comenzó hace varios meses y se ha acentuado durante las últimas semanas. La ginecóloga anota «incontinencia por estrés».

Casoc línico *(cont.)*

- De igual modo, refiere que se ve obligada a orinar hasta 10 veces a lo largo del día y en 5 o más ocasiones durante el período nocturno. Este problema también comenzó hace meses y se ha agravado recientemente.
- Padece estreñimiento.
- El dolor de espalda continuo se torna más intenso al final de la jornada.
- Percibe que «algo desciende» por la vagina cuando se encuentra erguida y esta sensación se acentúa al final del día.
- Al ser preguntada por la ginecóloga, Eleanor señala que la incontinencia por estrés y la frecuencia mayor de la necesidad de orinar se han reducido conforme ha aumentado la intensidad de la sensación de «algo que baja» por la vagina.

La ginecóloga lleva a cabo una exploración pélvica y detecta alteraciones físicas que facilitan el diagnóstico de la afección de Eleanor.

Puntos de interés

Cada sistema del organismo, antes o después, ocupa un lugar importante en la presentación de signos y síntomas, lo que permite al médico reconstruir los diversos indicios que, en condiciones ideales, conducirán al diagnóstico correcto del paciente. Tanto los síntomas que manifieste el paciente, como el análisis e interpretación de dichos síntomas por parte del médico, contribuyen a esta tarea detectivesca.

Para estudiar el significado de la información aportada en el caso descrito, es necesario que repase los contenidos anatómicos tratados en los capítulos sobre los aparatos reproductor y urinario. Las siguientes preguntas le servirán de orientación para su estudio. Reflexione sobre cada una y contéstela, consultando de nuevo los capítulos 26 y 27 si necesita alguna ayuda.

1. ¿Con qué estructuras anatómicas se podría relacionar el dolor que presenta Eleanor?
2. ¿Qué alteraciones patológicas y/o relacionadas con la edad de las estructuras anatómicas podrían relacionarse con el dolor de la paciente?
3. Explique por qué podría existir una estrecha relación entre el estreñimiento de Eleanor y los demás síntomas.

Análisis e interpretación

La información siguiente responde a las preguntas formuladas en el apartado «Puntos de interés». Para repasar este material, acuda a las páginas de los capítulos indicados.

1. Eleanor presenta dolor irradiado desde los riñones, lo que podría deberse a una infección del tracto urinario [p. 472].
2. La edad de la paciente constituye un elemento destacado en el diagnóstico elaborado por el médico. La incontinencia es un problema frecuente del aparato urinario en la tercera edad. A menudo se debe a trastornos funcionales relacionados con la edad que dificultan el control adecuado del reflejo de micción por el sistema nervioso central [p. 708]. Varios elementos de tejido conjuntivo sostienen el útero y la vejiga urinaria en la mujer. Algunos factores, como el parto por vía vaginal y la menopausia y la disminución asociada de las concentraciones de GnRH, FSH y LH, pueden debilitar estos tejidos de sostén, p. 733 [p. 704].
   - El desgarro del ligamento cardinal destruye el elemento que sostiene las caras superiores de la vagina y el útero sobre el diafragma pélvico, p. 733.
   - El ligamento posterior, o pliegue rectovaginal, se compone de peritoneo curvado desde el fondo de saco vaginal posterior hacia la superficie anterior del recto para dar lugar al fondo de saco rectourerino, p. 727. El fondo de saco rectouterino es un espacio creado entre la pared posterior del útero y la superficie anterior del colon. El desgarro del pliegue rectovaginal hace posible el descenso del útero hacia dicha bolsa.
   - Igualmente, la menopausia puede debilitar los ligamentos del cuello uterino, los ligamentos uterosacros y los ligamentos pubocervicales. Los ligamentos del cuello uterino ofrecen un importante soporte mecánico del útero, pp. 727, 733. Los ligamentos uterosacros se ocupan de sostener el útero y se extienden a lo largo de la superficie posterior del cuello y el cuerpo uterinos a ambos lados del recto hasta fijarse al sacro. Los ligamentos pubocervicales recorren las superficies anteriores del útero y la porción superior de la vagina, rodean a la uretra y se unen a las caras posteriores de los huesos púbicos. El útero puede descolgarse cuando cualquiera de estas estructuras de soporte se encuentra debilitada.
3. El prolapso uterino en la pelvis puede obstruir la entrada al recto. El parto por vía vaginal puede distender y ocasionar lesiones a las capas musculares anteriores de la pared rectal, lo que reduciría la fuerza de propulsión que aparece ante el deseo de defecar. La combinación de ambos fenómenos ralentiza el paso de residuos fecales por el colon y el tiempo de tránsito más dilatado prolonga el período durante el cual puede tener lugar la reabsorción de agua, lo que provocaría estreñimiento. El material fecal retenido ejercería presión sobre la vejiga urinaria llena, lo que ralentizaría la micción, dificultaría la evacuación vesical completa y favorecería las infecciones del tracto urinario. Se podría crear, así, un ciclo de laxitud pélvica, prolapso uterino, estreñimiento e incontinencia urinaria que se autoperpetuaría.

TÉRMINOS DEL CASO CLÍNICO

estreñimiento: Trastorno en el que las deposiciones son incompletas o infrecuentes.
fármaco sulfa: Antibiótico que contiene el grupo químico sulfanilamida, se utiliza con frecuencia en el tratamiento de infecciones del tracto urinario.
fármaco de venta libre: Fármaco sin receta médica; se puede adquirir sin receta médica.
hipertensión: Presión arterial mantenida por encima de 120/80 mm Hg (anteriormente, los valores de 120 a 140/80-90 recibían el nombre de pre-hipertensión).
incontinencia por esfuerzo: Incapacidad de mantener cerrado el esfínter urinario durante acciones musculares repentinas, como estornudos, o fuerzas de compresión abdominal cuando se elevan objetos pesados. Provoca fugas de orina.
mastectomía radical: Intervención quirúrgica de extirpación de la totalidad de la mama, lo que incluye el pezón, la aréola, la piel suprayacente y los músculos pectorales, así como el tejido linfático de la pared torácica, la axila y la cadena mamaria.

Casoc línico *(cont.)*

Diagnóstico

Se establece el diagnóstico de prolapso uterovaginal (**v. figura 27.22**), con herniación parcial del útero y/o porciones de la vejiga, la uretra y el recto terminal a través del suelo/diafragma pélvico y las paredes musculares de la vagina. La edad avanzada, la menopausia y el parto por vía vaginal de dos o más niños potencian la probabilidad de prolapso en la mujer. ■

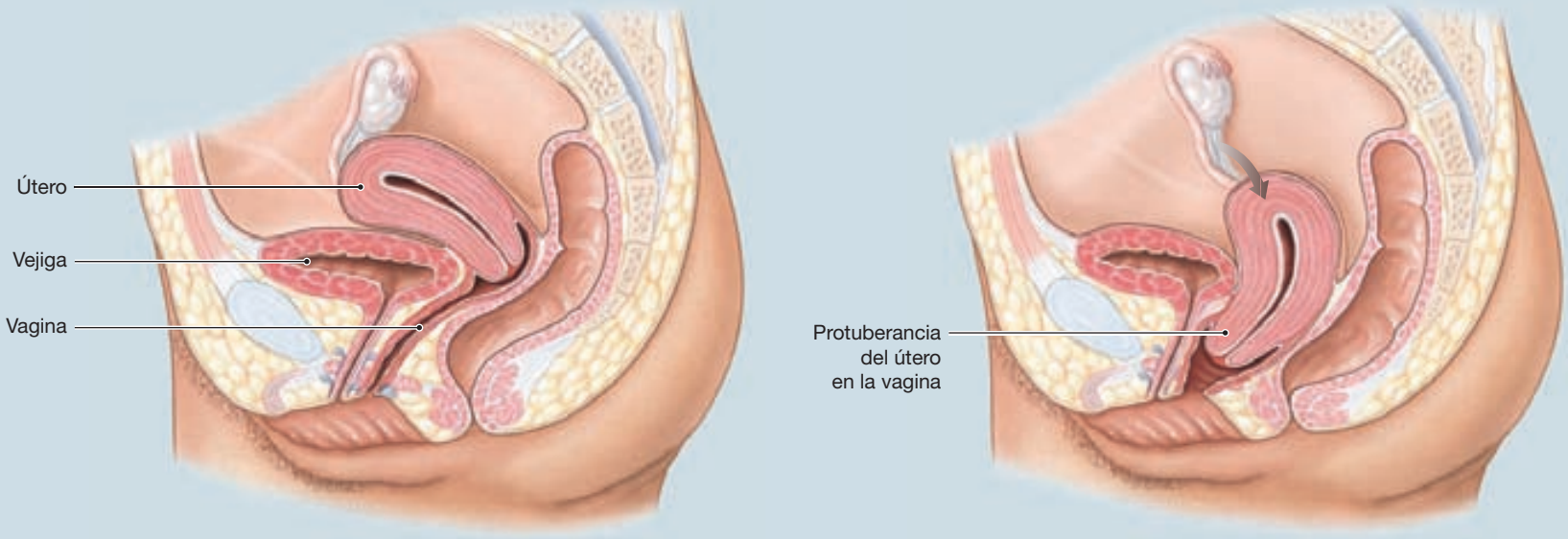


Figura 27.22 Prolapso uterovaginal

TÉRMINOS CLÍNICOS

antígeno específico de la próstata (PSA): Antígeno cuya concentración sérica aumenta en sujetos afectados por cáncer de próstata u otras afecciones prostáticas.

cáncer de próstata: Tumor maligno con capacidad de ocasionar metástasis; constituye la segunda causa más frecuente de mortalidad por cáncer en el varón.

candidiosis: Inflamación vaginal debida a una micosis. El microorganismo patógeno forma parte de la microflora vaginal normal en el 30% al 80% de las mujeres sanas. Se manifiesta con síntomas de escozor y quemazón, y puede generar una secreción grumosa blanquecina. El tratamiento de esta entidad se basa en los antimicóticos.

criptorquidia: Fallo en el descenso de uno o ambos testículos hacia el escroto durante el desarrollo fetal.

endometriosis: Proliferación del tejido endometrial fuera del útero.

enfermedad pélvica inflamatoria (EPI): Infección de las trompas uterinas.

enfermedades de transmisión sexual (ETS): Enfermedades que se transmiten de una persona a otra fundamentalmente o exclusivamente a través del contacto sexual. Algunas enfermedades frecuentes son las infecciones por clamidias, la gonorrea, la sífilis, los herpes y el SIDA.

gonorrea: Enfermedad de transmisión sexual que afecta al aparato reproductor.

infecciones por clamidias: La bacteria *Chlamydia trachomatis* ocasiona la mayoría de los casos de enfermedad pélvica inflamatoria (EPI); incluso las infecciones asintomáticas pueden producir infertilidad por obstrucción de las trompas uterinas.

leiomiomas o **miomas:** Tumores miometriales benignos; se consideran los tumores más frecuentes en el aparato genital femenino.

orquiectomía: Extirpación quirúrgica de un testículo.

pólipos endometriales: Tumores epiteliales benignos del revestimiento uterino.

prostatectomía: Extirpación quirúrgica de la próstata.

sífilis: ETS potencialmente mortal debida a la infección por la especie bacteriana *Treponema pallidum*.

síndrome de shock tóxico (SST): Infección vaginal grave producida por estafilococos. Cursa con fiebre, irritación faríngea, vómitos, diarrea y un exantema generalizado; puede producir choque, distrés respiratorio e insuficiencia renal o hepática. La tasa de mortalidad del SST es del 10% al 15%, por lo que constituye un trastorno grave.

torsión testicular: Torsión del cordón espermático y reducción de la irrigación testicular debido a la rotación del testículo en el interior de la cavidad escrotal.

tricomoniasis: Infección producida por el parásito *Trichomonas vaginalis*, el cual accede al organismo a través del contacto sexual con un sujeto portador.

vaginitis: Infección de la cavidad vaginal por patógenos micóticos o bacterianos.

vaginitis bacteriana (inespecífica): Inflamación vaginal debida a la acción combinada de varias especies bacterianas en concentraciones abundantes. Generalmente, las bacterias subsisten en números bajos en el 30% de las mujeres adultas. En esta forma de vaginitis, las secreciones vaginales contienen células epiteliales y numerosas células bacterianas. A menudo, la antibioterapia logra controlar de manera eficaz este trastorno.

vasectomía: Extirpación quirúrgica de un segmento del conducto deferente, lo que impide el acceso de los espermatozoides a las porciones distales del aparato reproductor femenino.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 715

1. El aparato genital del ser humano produce, almacena, nutre y transporta **gametos** funcionales (células reproductoras). La **fecundación** es el proceso de fusión de un **espermatozoide** del hombre con un **óvulo** inmaduro de la mujer para formar un **cigoto** (óvulo fecundado).

Organización del aparato reproductor 715

1. El aparato genital consta de **gónadas**, conductos, glándulas y órganos accesorios, y **genitales externos.**
2. En el hombre, los **testículos** fabrican espermatozoides, que se expulsan del organismo en el **semen** durante la **eyaculación.** Los **ovarios** (gónadas) de una mujer adulta generan un óvulo que se desplaza a lo largo de una de las **trompas uterinas** hasta alcanzar el **útero**. La **vagina** conecta el útero con el exterior.

Anatomía del aparato reproductor masculino 715

1. Los **espermatozoides** recorren el **epidídimo,** el **conducto deferente,** el **conducto eyaculador,** y la **uretra** antes de salir del organismo. Los órganos accesorios (en particular, las **glándulas seminales**, la **próstata** y las **glándulas bulbouretrales**) liberan sus secreciones a los conductos eyaculadotes y la uretra. El **escroto** envuelve a los testículos y el **pene** es un órgano eréctil *(v. figuras 27.1 a 27.9)*.

Testículos 715

2. Los testículos se encuentran suspendidos en el escroto; cada uno de ellos tiene una longitud de 5 cm y un diámetro de 2,5 centímetros.
3. Durante el desarrollo fetal tiene lugar el **descenso de los testículos** a lo largo de los canales inguinales. El **gubernáculo testicular** mantenía la posición de estos órganos con anterioridad al descenso. El crecimiento diferencial y la contracción del gubernáculo provocan el descenso de los testículos durante el séptimo mes de embarazo *(v. figura 27.2)*.
4. Las capas de la fascia, tejido conjuntivo y músculo forman una envoltura, el cordón espermático, que engloba al conducto deferente, la arteria y la vena testiculares, el **plexo pampiniforme,** y los **nervios ilioinguinal** y **genitofemoral** *(v. figura 27.3)*.
5. Los testículos están conectados con la cavidad abdominal por medio de los **cordones espermáticos.** El **rafe perineal** delimita la separación de ambas cámaras en el escroto. Cada testículo se aloja en su propia **cavidad escrotal** *(v. figuras 27.1/27.2/27.4)*.
6. La contracción del músculo dartos confiere un aspecto arrugado al escroto; el músculo cremáster acerca los testículos al organismo. La **túnica vaginal** es una membrana serosa que recubre la **túnica albugínea,** una cápsula fibrosa que rodea a cada testículo. De la túnica albugínea parten tabiques hacia el **mediastino** que crean una serie de **lóbulos.** La producción de espermatozoides tiene lugar en los **túbulos seminíferos** de cada lóbulo. Los espermatozoides viajan desde estos túbulos hacia la **red testicular** a través de un **túbulo recto.** La red testicular se conecta con el epidídimo a través de **conductos eferentes.** Las **células intersticiales** dispersas entre los túbulos seminíferos secretan hormonas sexuales masculinas, los *andrógenos*. Los túbulos seminíferos contienen **espermatogonias,** células madre que participan en la **espermatogenia** (producción de espermatozoides) *(v. figuras 27.1 a 27.5)*.
7. Las espermatogonias dan lugar a **espermatocitos primarios,** células **diploides** que pueden someterse al proceso de **meiosis.** Cada espermatocito primario genera cuatro espermátidas. Las espermátidas se alojan en **células nodrizas** en las que maduran para convertirse en **espermatozoides** en un proceso conocido como **espermiogenia.** Las células nodrizas mantienen la **barrera hemato-testicular,** facilitan la espematogenia y la espermiogenia y secretan **inhibina** y **proteína transportadora de andrógenos.**

Anatomía del espermatozoide 721

8. Cada espermatozoide posee una **cabeza,** un **cuello,** una **zona intermedia** y una **cola.** El extremo de la cabeza contiene el **capuchón acrosómico** o **acrosoma.** La cola se compone de un **flagelo** solitario. El espermatozoide debe absorber los nutrientes del medio que lo circunda debido a que carece de la mayor parte de los orgánulos citoplasmáticos.

Aparato reproductor masculino 722

9. Después de abandonar las células nodrizas, los espermatozoides se desplazan gracias a corrientes de líquido hacia el epidídimo, un túbulo alargado en el que puede distinguirse una **cabeza,** un **cuerpo** y una **cola.** Esta estructura controla y adapta la composición del líquido de los túbulos, actúa como centro de reciclaje de espermatozoides dañados, almacena espermatozoides y facilita su maduración funcional (denominada **capacitación**) *(v. figuras 27.1/27.4/27.7.)*
10. El **conducto deferente** *(vas deferens)* parte del epidídimo y atraviesa el conducto inguinal dentro del cordón espermático. En las inmediaciones de la próstata se dilata para formar la **ampolla.** La unión de la base de la glándula seminal con la ampolla da lugar al **conducto eyaculador,** el cual desemboca en la uretra. El conducto deferente se ocupa de transportar y almacenar a los espermatozoides *(v. figuras 27.1/27.7/27.8)*.
11. La uretra se extiende desde la vejiga urinaria hasta el extremo distal del pene. Puede dividirse en tres porciones: la *uretra prostática*, la *uretra membranosa* y la *uretra esponjosa (v. figuras 27.1/27.9)*.

Glándulas accesorias 723

12. Las glándulas accesorias activan y aportan nutrientes a los espermatozoides y producen tampones que neutralizarán el pH ácido de la uretra y la vagina.
13. Cada **glándula seminal (vesícula seminal)** es una glándula secretora activa que aporta aproximadamente el 60% del volumen del semen; sus secreciones son ricas en fructosa, que los espermatozoides degradan con facilidad para obtener ATP. Los espermatozoides se tornan muy activos al mezclarse con estas secreciones *(v. figuras 27.1/27.8/27.9)*.
14. La **glándula próstata** secreta un líquido ligeramente ácido **(líquido prostático)** que representa el 20% al 30% del volumen del semen. Contiene un antibiótico, **seminalplasmina,** que podría ayudar a evitar las infecciones del tracto urinario en el hombre *(v. figuras 27.1/27.8/27.9)*.
15. La mucosidad alcalina secretada por las **glándulas bulbouretrales** *(glándulas de Cowper)* lubrica los conductos *(v. figuras 27.1/27.8/27.9)*.

Semen 725

16. En una eyaculación típica se liberan entre 2 y 5 mL de semen (un **eyaculado**) que contiene entre 20 y 100 millones de espermatozoides por mililitro. El **líquido seminal** es una mezcla de secreciones de las glándulas accesorias que contiene algunas enzimas importantes.

Pene 725

17. En el **pene** se pueden distinguir tres partes: la **raíz,** el **cuerpo** (eje) y el **glande.** La piel que recubre el pene es similar a la del escroto. El **prepucio** rodea el extremo distal del pene. Las **glándulas prepuciales** localizadas en la superficie interna del prepucio secretan **esmegma.** El cuerpo del pene se compone, en esencia, de tres masas de **tejido eréctil.** Por debajo de la fascia superficial existen dos **cuerpos cavernosos** y un **cuerpo esponjoso** que rodea a la uretra. El tejido eréctil se tensa como consecuencia de la entrada de sangre, dando lugar a una **erección,** cuando se relaja el músculo liso de las paredes arteriales *(v. figuras 27.1/27.2/27.9)*.

Anatomía del aparato reproductor femenino 727

1. Las principales estructuras del aparato reproductor femenino son los **ovarios,** las **trompas uterinas,** el **útero,** la **vagina** y los genitales externos *(v. figuras 27.10 a 27.21)*.
2. El **ligamento ancho** (un mesenterio amplio) rodea a los ovarios, las trompas uterinas y el útero. El **mesovario** sustenta y estabiliza a los ovarios *(v. figuras 27.10/27.11/27.15)*.

Ovarios 727

3. El **ligamento ovárico** y el **ligamento suspensor** fijan la posición de los ovarios. La **arteria** y la **vena ováricas** ingresan en el ovario a través del **hilio ovárico.** Cada ovario se recubre de una túnica albugínea *(v. figuras 27.10/27.11/27.15)*.
4. La **ovogenia** (producción de gametos) tiene lugar todos los meses en los **folículos ováricos** dentro del **ciclo ovárico.** Las células de la granulosa de la teca que rodean al ovocito secretan estrógenos, el más importante de los cuales es el estradiol, conforme se transforman los **folículos ováricos primordiales** en

folículos ováricos primarios. El **líquido folicular** induce una rápida proliferación durante la formación de un número reducido de **folículos ováricos secundarios.** Por último, se desarrolla un único **folículo terciario** (**folículo ovárico maduro** o *folículo de Graaf*). El ovocito primario sufre una división meiótica que genera un ovocito secundario. En el momento de la **ovulación** se libera un **ovocito secundario** rodeado de células foliculares (la **corona radiada**) a través de la pared ovárica degradada *(v. figura 27.12)*.

5. Las células foliculares que permanecen en el ovario dan lugar al **cuerpo lúteo,** el cual sintetiza **progestinas,** principalmente **progesterona.** De no tener lugar la fecundación, sufre un proceso de degeneración para convertirse en un **cuerpo blanco** de tejido cicatricial *(v. figura 27.12)*.
6. La disminución de las concentraciones de progesterona y estrógenos induce la secreción de **GnRH,** lo que favorece la síntesis de FSH y LH, de modo que el ciclo pueda comenzar de nuevo *(v. figura 27.18)*.

Trompas uterinas 732

7. Cada **trompa uterina** posee un pabellón dilatado, el **infundíbulo,** dotado de fimbrias (proyecciones), una **ampolla,** un **istmo,** y una **porción uterina** que desemboca en la **cavidad uterina** *(v. figuras 27.10/27.11/27.14/27.15)*.
8. La trompa uterina se tapiza de un epitelio cilíndrico simple no ciliado que facilita el transporte de material. El óvulo ha de entrar en contacto con los espermatozoides a lo largo de las primeras 12 a 24 horas de su viaje desde el infundíbulo hacia el útero para que tenga lugar su fecundación.

Útero 733

9. El **útero** ofrece protección mecánica y nutrición al embrión en desarrollo. Habitualmente, el útero se curva en sentido anterior cerca de su base (anteflexión). El ligamento ancho, los **ligamentos uterosacros,** los **ligamentos redondos** y los **ligamentos cardinales** estabilizan a este órgano *(v. figuras 27.10/27.11/27.15)*.
10. A grandes rasgos, el útero puede dividirse en el **cuerpo** (la porción mayor), el **fondo,** el **istmo,** el **cuello uterino,** el **orificio e**xterno, la **cavidad uterina,** el **canal cervical** y el **orificio interno**. La pared uterina consta de un **endometrio** interno, un **miometrio** muscular y un **parametrio** superficial *(v. figuras 27.15/27.16)*.
11. La irrigación del útero proviene de las **arterias uterinas,** que se ramifican y establecen un gran número de interconexiones.
12. Un **ciclo uterino** *(ciclo menstrual)* típico de 28 días comienza con el inicio de la **menstruación** y la destrucción de la capa funcional del endometrio. La duración de la menstruación es de 1 a 7 días *(v. figuras 27.17/27.18)*.
13. La **fase proliferativa** se pone en marcha al concluir la menstruación, y durante ella se repara y engrosa la capa funcional. La actividad menstrual se inicia en la **menarquia** (primer ciclo uterino) y se mantiene hasta la **menopausia** *(v. figuras 27.17/27.18)*.

Vagina 736

14. La **vagina** es un cilindro muscular elástico localizado entre el útero y los genitales externos. La vagina actúa como canal para la salida de los líquidos menstruales, recibe al pene durante el coito y conforma la porción inferior del canal del parto. Un delgado repliegue epitelial, el **himen,** impide la entrada a la vagina. Este órgano está tapizado de un epitelio escamoso estratificado que, al relajarse, forma pliegues transversales (rugosidades) *(v. figuras 27.10/27.11/27.19)*.

Genitales externos 738

15. Las estructuras pertenecientes a la **vulva** son el **vestíbulo,** los **labios menores,** el **clítoris,** el **prepucio** y los **labios mayores.** Las glándulas vestibulares menores y mayores se ocupan de lubricar el vestíbulo y el área que lo rodea. El **monte de Venus** adiposo define el límite externo de la vulva *(v. figuras 27.10/27.20)*.

Glándulas mamarias 739

16. Las **glándulas mamarias** se encuentran en la capa subcutánea por debajo de la piel del tórax y en ellas tiene lugar la producción de leche o **lactancia.** El tejido glandular mamario se divide en lóbulos secretores. Los conductos que salen de estos lóbulos confluyen en un único **conducto galactóforo** y se dilatan en las inmediaciones del pezón para crear un **seno galactóforo.** Los conductos de las glándulas mamarias subyacentes desembocan en la superficie corporal a través del **pezón** *(v. figura 27.21)*.
17. Cada mama recibe su irrigación de ramificaciones de la *arteria torácica interna*.
18. Las glándulas mamarias se desarrollan durante el embarazo por influencia de *prolactina* (PRL) y *somatostatina* (GH) sintetizadas por la hipófisis anterior y el **lactógeno placentario humano (HPL)** fabricado por la placenta.

Embarazo y aparato reproductor femenino 740

19. De producirse la fecundación, el **blastocisto** se **implanta** en la pared endometrial. Se forma una **placenta** que actúa como órgano endocrino temporal y sintetiza varias hormonas relevantes. La **gonadotropina coriónica humana (HCG)** se ocupa de mantener el cuerpo lúteo durante varios meses. Para cuando tiene lugar la degeneración de este cuerpo, la placenta ha comenzado ya a secretar de manera activa estrógeno y progesterona. De igual modo, la placenta sintetiza **relaxina,** una molécula importante durante el parto, y lactógeno placentario humano (HPL).

Envejecimiento y aparato reproductor 741

Menopausia 741

1. La **menopausia** (definida como el momento en el que cesan la ovulación y la menstruación) suele tener lugar alrededor de los 50 años de edad. La **menopausia prematura** sucede con anterioridad a los 40 años. La menopausia se acompaña de un aumento de la producción de GnRH, FSH y LH junto a una disminución de las concentraciones séricas de estrógeno y progestinas.

Climaterio masculino 741

2. El **climaterio masculino** tiene lugar entre los 50 y los 60 años y se caracteriza por una disminución de las concentraciones séricas de testosterona y el aumento de las de FSH y LH.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. células intersticiales	a. unión de la cavidad escrotal con la cavidad peritoneal
___ 2. canales inguinales	b. células madre que producen espermatozoides
___ 3. glándulas mamarias	c. compartimento del escroto que contiene los testículos
___ 4. endometrio	d. lugar donde sucede la lactancia
___ 5. dartos	e. flagelo
___ 6. cavidad escrotal	f. capa interna de la pared uterina
___ 7. espermatogonias	g. porción dilatada de la trompa uterina
___ 8. estradiol	h. estrógeno muy importante
___ 9. ampolla	i. responsable de la síntesis de andrógenos
___10. cola del espermatozoide	j. capa de músculo liso localizada en la dermis del escroto

11. El aparato genital consta de:
    (a) gónadas y genitales externos
    (b) conductos que reciben y transportan a los gametos
    (c) glándulas y órganos accesorios que producen secreciones
    (d) todos los anteriores

12. Los órganos accesorios del aparato reproductor masculino incluyen todos los elementos siguientes con excepción de:
    (a) glándulas seminales
    (b) escroto
    (c) glándulas bulbouretrales
    (d) próstata

13. La producción de espermatozoides tiene lugar en:
    (a) conducto deferente (b) túbulos seminíferos
    (c) epidídimo (d) glándulas seminales

14. La estructura que conduce los espermatozoides desde el epidídimo hasta la uretra recibe el nombre de:
    (a) conducto deferente
    (b) epidídimo
    (c) glándula seminal
    (d) conducto eyaculador

15. El mediastino del testículo:
    (a) ocupa una posición ventral
    (b) sostiene a los vasos sanguíneos y los vasos linfáticos que irrigan y drenan los testículos
    (c) separa el testículo izquierdo del derecho
    (d) pertenece a la cápsula testicular externa

16. La estructura que transporta el óvulo hasta el útero es el:
    (a) ligamento uterosacro (b) vagina
    (c) trompa uterina (d) infundíbulo

17. ¿Cuál de los siguientes elementos no constituye un ligamento de sostén del útero?
    (a) ligamento suspensorio (b) ligamento cardinal
    (c) ligamento redondo (d) ligamento ancho

18. Durante la fase proliferativa del ciclo menstrual:
    (a) tiene lugar la ovulación
    (b) se forma una nueva capa funcional en el útero
    (c) se forman glándulas secretoras y vasos sanguíneos en el endometrio
    (d) se desprende la antigua capa funcional

19. La vagina es:
    (a) un espacio central delimitado por los labios menores
    (b) un revestimiento interno del útero
    (c) la porción inferior del útero
    (d) un conducto muscular que ocupa el espacio existente entre el útero y los genitales externos

20. La estructura del aparato genital femenino que es homóloga al escroto del aparato genital masculino es:
    (a) la vagina (b) el cuello uterino
    (c) los labios mayores (d) la trompa uterina

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Qué efecto tendrá la alteración de la irrigación de los cuerpos cavernosos en la función del pene?
    (a) el pene erecto no podrá tornarse flácido
    (b) no se producirá una erección
    (c) se producirá una erección, pero no la eyaculación
    (d) se obstruirá la uretra

2. ¿Qué efecto tendrá el fracaso de descenso testicular en la función del aparato reproductor masculino?
    (a) la irrigación testicular será inadecuada
    (b) el cordón espermático sufrirá una herniación a través del conducto inguinal
    (c) se secretarán cantidades excesivas de hormonas sexuales masculinas en la cavidad abdominal
    (d) no se producirán espermatozoides viables

3. En algunos casos, se puede identificar un tumor mamario mediante la detección de un hoyuelo en la piel situada sobre el mismo. ¿A qué estructuras mamarias puede atribuirse este fenómeno?
    (a) el tumor, ya que estimula la musculatura lisa de la piel
    (b) no participa ninguna estructura mamaria, solamente los músculos pectoral mayor y pectoral menor
    (c) los ganglios linfáticos mamarios, que se contraen como consecuencia de la estimulación tumoral
    (d) los ligamentos suspensores de la mama, que se encuentran conectados con el tumor

4. ¿Qué región del espermatozoide contiene los cromosomas?

5. ¿Cuál es la función del capuchón acrosómico?

6. ¿En qué estructura se sintetiza la seminalplasmina y cuál es su función?

7. ¿Por qué ejerce un efecto beneficioso el líquido folicular en el desarrollo de los folículos?

8. ¿Qué capa endometrial se desprende durante la menstruación?

9. ¿Qué hormona se puede detectar inmediatamente después de la implantación?

10. ¿Cuándo suele comenzar el descenso de los testículos?

Nivel 3 Pensamiento crítico

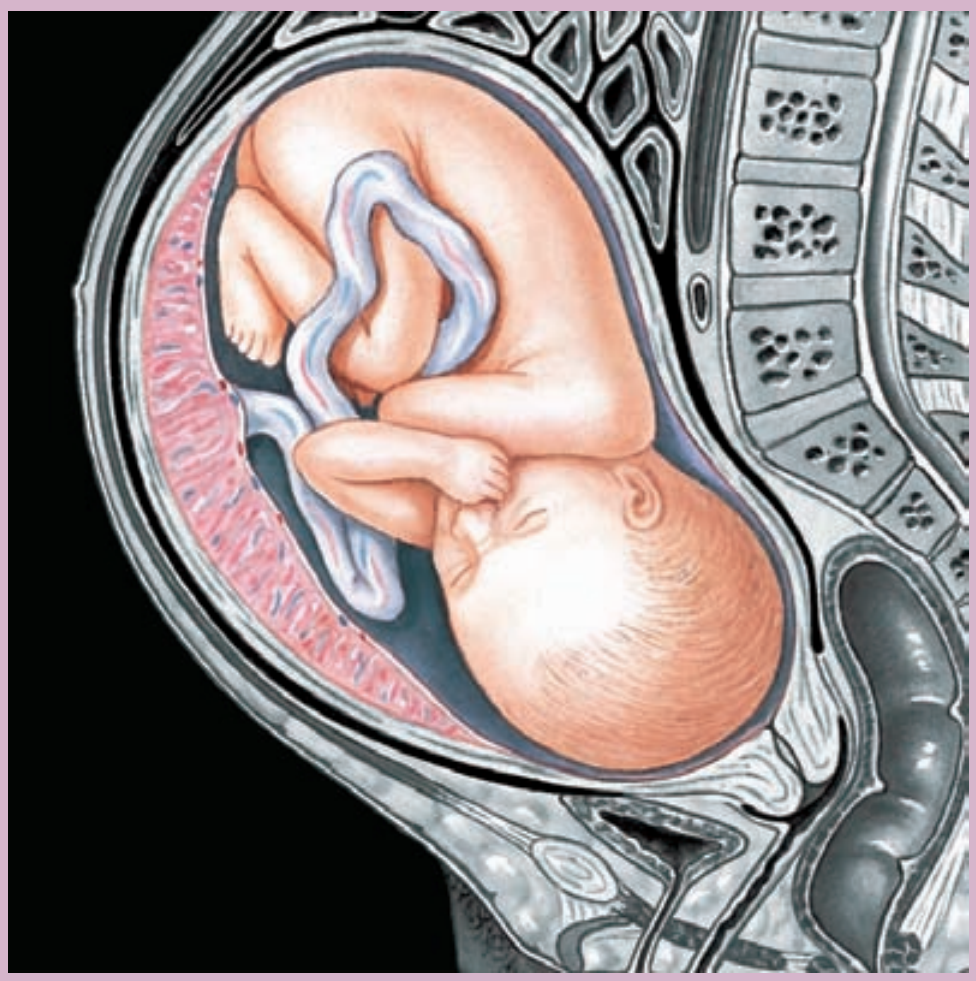
1. Jerry ha sufrido un accidente de tráfico como consecuencia del cual la médula ósea se ha seccionado en el nivel L_3. Tras recuperarse de sus lesiones, el paciente se pregunta si volverá a tener una erección. ¿Qué le contestaría?

2. En la endometriosis, las células endometriales proliferan en el interior de la trompa uterina o bien en la cavidad peritoneal. Un síntoma prominente de esta entidad es el dolor periódico. ¿A qué cree que se debe?

3. Las mujeres presentan una susceptibilidad mucho mayor a la peritonitis y las infecciones del tracto urinario asociadas a la actividad sexual que los hombres. Explique este hecho en base a las diferencias anatómicas existentes entre ambos sexos.

28

Embriología y desarrollo humano



Introducción 748

Introducción al desarrollo 748

Fecundación 748

Desarrollo prenatal 749

Parto y alumbramiento 760

Período neonatal 763

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Enumerar las condiciones necesarias para el éxito de la fecundación.
2. Describir el proceso de fecundación.
3. Comentar las etapas del desarrollo embrionario y fetal.
4. Describir el proceso de segmentación y señalar dónde sucede.
5. Diferenciar las fases preembrionaria, embrionaria y fetal.
6. Describir el proceso de implantación.
7. Describir los sucesos que tienen lugar a lo largo del primer trimestre y explicar por qué revisten una importancia clave para la supervivencia del embrión.
8. Describir el proceso de placentación y explicar su relevancia.
9. Resumir el proceso de embriogenia.
10. Resumir los acontecimientos que tienen lugar a lo largo del segundo y tercer trimestres.
11. Explicar las fases del parto y los sucesos que tienen lugar inmediatamente antes y después del alumbramiento.
12. Identificar los cambios anatómicos que se producen cuando el feto se convierte en un neonato.

El proceso de **desarrollo** consiste en la modificación gradual de las estructuras anatómicas a partir del momento de la concepción hasta la madurez. Los cambios que se producen son llamativos: lo que comienza siendo una célula única de tamaño ligeramente mayor que el punto, al final de esta fase se transforma en un cuerpo humano con miles de millones de células organizadas en tejidos, órganos y sistemas orgánicos. La formación de tipos celulares especializados a lo largo del desarrollo, que recibe el nombre de **diferenciación,** se sustenta en cambios selectivos de la actividad genética. El conocimiento básico del desarrollo humano permite comprender mejor las estructuras anatómicas.

El presente capítulo se centrará en los aspectos más relevantes del proceso de desarrollo. A lo largo del mismo se incluirán resúmenes de embriología en los que se mostrará el desarrollo de algunos sistemas orgánicos.

Introducción al desarrollo

El desarrollo requiere: 1) la división y la diferenciación de las células, que dan lugar a distintos tipos celulares, y 2) la reorganización de estos tipos celulares para producir o modificar las estructuras anatómicas. El desarrollo culmina con un sujeto maduro capaz de reproducirse. Se trata de un proceso continuo que se pone en marcha con la **fecundación** o **concepción** y se puede subdividir en distintos períodos caracterizados por unos cambios anatómicos específicos. En este capítulo nos centraremos principalmente en el **desarrollo prenatal,** el período comprendido entre la concepción y el parto. El término **embriología** se refiere al estudio de los acontecimientos que tienen lugar durante el período prenatal. El desarrollo posnatal comienza tras el **nacimiento** y continúa hasta la madurez. Se abordará brevemente el período neonatal que tiene lugar inmediatamente después del parto; otros aspectos del desarrollo infantil y adolescente se han tratado en los capítulos centrados en sistemas orgánicos específicos.

Se puede subdividir el período del desarrollo prenatal. El **desarrollo preembrionario** se inicia tras la fecundación y continúa hasta la *segmentación* (serie inicial de divisiones celulares) y la implantación (movimiento del preembrión hacia el revestimiento uterino).

El **desarrollo embrionario** sucede al pre-embrionario y comprende desde la implantación, que suele tener lugar entre los días noveno o décimo posteriores a la fecundación, hasta el final de la octava semana de desarrollo. El **desarrollo fetal** se inicia al principio de la novena semana y continúa hasta el momento del nacimiento. A continuación procederemos a describir cada uno de estos procesos de forma más detallada.

Fecundación [v. figura 28.1a]

La fecundación consiste en la fusión de dos gametos haploides que da lugar a un cigoto diploide que contiene un número de cromosomas normal en una célula somática (46) [pp. 45, 719]. Los papeles que desempeñan y las contribuciones del espermatozoide y el óvulo difieren notablemente. El espermatozoide tan sólo transporta los cromosomas paternos hasta el lugar donde sucede la fecundación, mientras que el óvulo ha de aportar los nutrientes y los mecanismos genéticos necesarios para mantener el desarrollo embrionario a lo largo de casi toda la semana siguiente a la concepción. Por tanto, el volumen del óvulo es mucho mayor que el del espermatozoide (**v. figura 28.1a**).

La fecundación normal se produce en la ampolla de la trompa uterina, por lo general, durante el día posterior a la ovulación. Durante este período de tiempo, el ovocito secundario se desplaza algunos centímetros, mientras que los espermatozoides tienen que recorrer la distancia que existe entre la vagina y la ampolla. Los espermatozoides que alcanzan la vagina son móviles, pero no podrían fecundar a ningún ovocito hasta que se hayan sometido al proceso de capacitación en el aparato reproductor femenino [p. 722].

Es probable que el movimiento de los espermatozoides desde la vagina hacia el lugar de la fecundación se vea favorecido por las contracciones de la musculatura uterina y las corrientes ciliares de las trompas uterinas. El tiempo empleado en recorrer esta distancia puede abarcar de 30 minutos a 2 horas. A pesar de la ayuda recibida y la disponibilidad de nutrientes, no se trata de un viaje exento de dificultades. De los 200 millones de espermatozoides que se introducen en la vagina en un eyaculado normal, tan sólo unos 10.000 pasan a la trompa uterina y menos de 100 logran acceder a la ampolla. Cualquier hombre con un recuento espermático inferior a 20 millones por mililitro se considera **estéril** desde el punto de vista funcional debido a que el número de espermatozoides que sobrevivirá para entrar en contacto con el ovocito secundario será excesivamente bajo. Uno o dos espermatozoides no pueden llevar a cabo la fecundación debido al estado del ovocito secundario en la ovulación.

El ovocito en la ovulación [v. figura 28.1b]

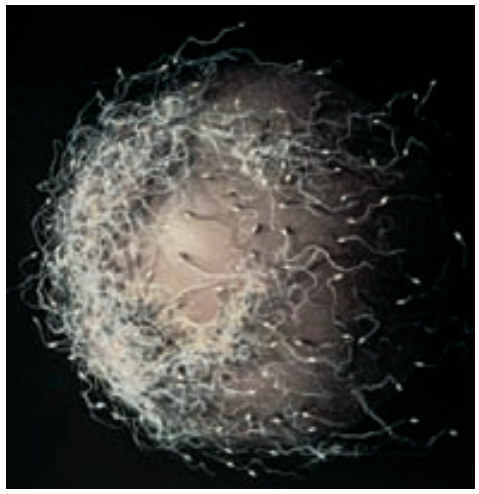
La ovulación se produce antes de haber concluido la maduración de los ovocitos de modo que el ovocito secundario que abandona el folículo se encuentra en la metafase de la segunda división meiótica (meiosis II). Además, se han detenido las reacciones metabólicas y el ovocito secundario se mantiene en un estado de animación suspendida a la espera de la señal que estimulará su desarrollo ulterior. Esta célula se desintegrará sin finalizar la meiosis de no producirse la fecundación.

La *corona radiada*, que consiste en una capa de células foliculares, rodea al ovocito secundario liberado por el ovario, lo que complica en mayor medida la fecundación [p. 731]. En la **figura 28.1b** se encuentra un resumen los acontecimientos que tienen lugar a partir de ese momento. La corona radiada confiere protección al ovocito conforme avanza a través de la pared folicular rota hacia el infundíbulo de la trompa uterina. Aunque el proceso físico de la fecundación tan sólo necesita del contacto de un solo espermatozoide con la membrana ovocitaria, aquel ha de atravesar en primer lugar la corona radiada. El acrosoma del espermatozoide contiene la enzima **hialuronidasa,** la cual degrada el conglomerado intercelular en el que se encuentran inmersas las células foliculares en la corona radiada. La desintegración de las conexiones intercelulares entre estas células en un grado suficiente para hacer posible la fecundación requiere la liberación de hialuronidasa por parte de varias docenas de espermatozoides. Independientemente del número de espermatozoides que logren acceder al ovocito a través del espacio creado de esta manera, únicamente uno llevará a cabo la fecundación y la activación del ovocito. Las membranas del espermatozoide y el ovocito se fusionan cuando el primero atraviesa la zona pelúcida y entra en contacto con el segundo, de modo que accede al **ovoplasma,** o citoplasma del ovocito. Este proceso de fusión de membranas induce la **activación del ovocito,** un proceso que requiere algunos cambios metabólicos en el ovocito secundario. Su tasa metabólica aumenta repentinamente y algunas modificaciones inmediatas de la membrana plasmática impiden la fecundación por otros espermatozoides (cuando más de un espermatozoide atraviesa la membrana ovocitaria, un fenómeno conocido con el nombre de *poliespermia,* el proceso de desarrollo no sucede con normalidad). Posiblemente, el cambio más radical que experimenta el ovocito sea la finalización de la meiosis.

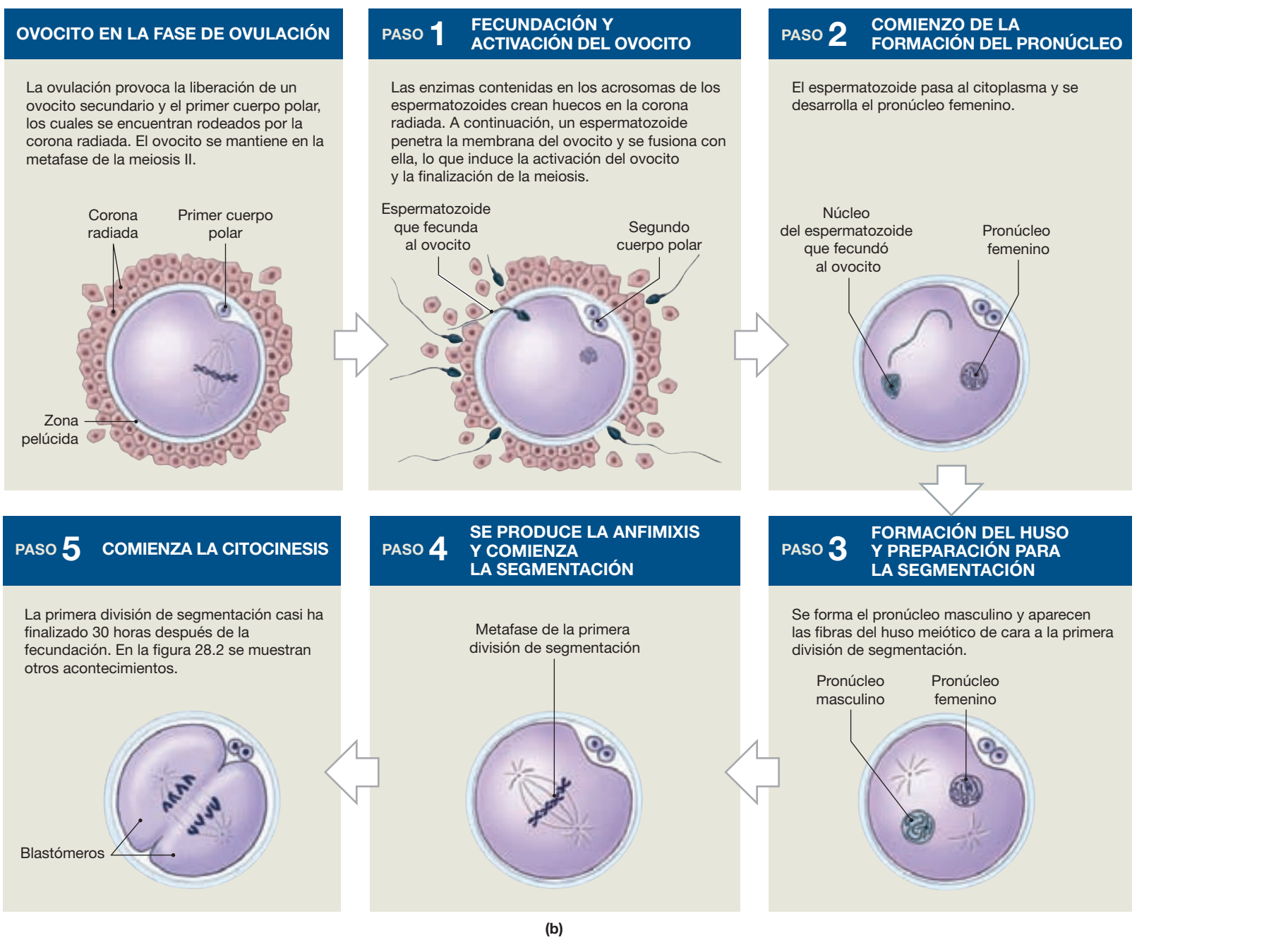
Formación de pronúcleos y anfimixis [v. figura 28.1b]

Tras la activación del ovocito y la finalización de la meiosis, el material nuclear que contiene esta célula se reorganiza en forma de **pronúcleo femenino** (**v. figura 28.1b**). Mientras suceden estos cambios, el núcleo del espermatozoide aumenta de tamaño para convertirse en el **pronúcleo masculino.** A continuación, este pronúcleo migra hacia el centro del ovocito y tiene lugar su fusión con el pronúcleo femenino en un proceso conocido como **anfimixis.** La fecundación ha concluido y se ha formado un **cigoto** que contiene el complemento normal de 46 cromosomas. El cigoto comienza a prepararse para sufrir divisiones mitóticas que darán lugar a miles de millones de células especializadas.

Figura 28.1 Fecundación y preparación para la segmentación
(a) Ovocito secundario rodeado de espermatozoides. **(b)** Acontecimientos que tienen lugar durante la fecundación y el período posterior a esta.



(a)


OVOCITO EN LA FASE DE OVULACIÓN
La ovulación provoca la liberación de un ovocito secundario y el primer cuerpo polar, los cuales se encuentran rodeados por la corona radiada. El ovocito se mantiene en la metafase de la meiosis II.
Corona radiada
Primer cuerpo polar
Zona pelúcida
PASO 1 FECUNDACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL OVOCITO
Las enzimas contenidas en los acrosomas de los espermatozoides crean huecos en la corona radiada. A continuación, un espermatozoide penetra la membrana del ovocito y se fusiona con ella, lo que induce la activación del ovocito y la finalización de la meiosis.
Espermatozoide que fecunda al ovocito
Segundo cuerpo polar
PASO 2 COMIENZO DE LA FORMACIÓN DEL PRONÚCLEO
El espermatozoide pasa al citoplasma y se desarrolla el pronúcleo femenino.
Núcleo del espermatozoide que fecundó al ovocito
Pronúcleo femenino
PASO 3 FORMACIÓN DEL HUSO Y PREPARACIÓN PARA LA SEGMENTACIÓN
Se forma el pronúcleo masculino y aparecen las fibras del huso meiótico de cara a la primera división de segmentación.
Pronúcleo masculino
Pronúcleo femenino
PASO 4 SE PRODUCE LA ANFIMIXIS Y COMIENZA LA SEGMENTACIÓN
Metafase de la primera división de segmentación
PASO 5 COMIENZA LA CITOCINESIS
La primera división de segmentación casi ha finalizado 30 horas después de la fecundación. En la figura 28.2 se muestran otros acontecimientos.
Blastómeros

(b)

Desarrollo prenatal

El período de desarrollo prenatal recibe el nombre de período de **gestación.** Para simplificar, el período de gestación se suele concebir como tres **trimestres** integrados, cada uno de los cuales tiene una duración de 3 meses:

- El **primer trimestre** es el período durante el cual tiene lugar el desarrollo embrionario y el desarrollo fetal inicial. A lo largo del mismo se forman los rudimentos de los principales sistemas orgánicos.
- En el **segundo trimestre** se lleva a cabo la mayor parte del desarrollo de los órganos y los sistemas orgánicos; al final del mismo, el feto muestra rasgos claramente humanos.
- El **tercer trimestre** se distingue por el crecimiento rápido. En la fase inicial de este trimestre, la mayoría de los sistemas orgánicos se tornan funcionales y un lactante que nazca 1 o 2 meses antes de término tiene bastantes posibilidades de sobrevivir.

Nota clínica

Complejidad y perfección Los futuros padres esperan que el embarazo sea una etapa idílica y el bebé sea perfecto, lo que refleja algunas ideas falsas muy arraigadas acerca de la naturaleza del proceso de desarrollo. Cuando aparece una malformación congénita grave, estos errores hacen creer que algo o alguien ha tenido la culpa. Se puede culpabilizar a los hábitos maternos (como el tabaquismo, el consumo de alcohol o la alimentación inadecuada), la exposición materna a toxinas o fármacos con receta médica o la presencia de otros estímulos perjudiciales en el ambiente. No obstante, aunque la embarazada se envolviera entre algodones y mantuviera reposo en cama desde la concepción hasta el momento del parto, continuarían apareciendo malformaciones congénitas y errores del desarrollo de manera regular.

Las **mutaciones espontáneas** se deben a errores aleatorios en la replicación que se producen con cierta frecuencia. En al menos el 10% de las fecundaciones se forman cigotos que portan cromosomas anómalos. La mayoría de las mutaciones espontáneas no produce anomalías visibles, por lo que la cantidad real de mutaciones debe ser mucho mayor. Casi todos los cigotos afectados mueren antes de finalizar su desarrollo y solamente el 0,5% de los neonatos porta anomalías cromosómicas debidas a mutaciones espontáneas.

Como consecuencia de la naturaleza de los mecanismos de regulación, el desarrollo prenatal no se produce a través de vías predeterminadas ni exactas. Por ejemplo, existen varias vías de vasos sanguíneos y los nervios, de modo que el mecanismo a través del cual la sangre o los impulsos nerviosos llegan a su destino carece de importancia siempre y cuando lo alcancen. Sin embargo, el desarrollo del embrión o el feto no culminará cuando la variante quede fuera de los límites considerados normales. Algunos cambios muy leves de la estructura cardíaca pueden provocar la muerte fetal, mientras que a menudo se observan variaciones significativas de la distribución venosa que apenas tienen consecuencias. Prácticamente todos los sujetos se pueden considerar anómalos en cierta medida, ya que ningún individuo posee rasgos promedio desde el punto de vista estadístico en todos los aspectos. Alrededor del 20% de sus genes presenta diferencias ligeras respecto a los que porta la población general y algunas anomalías leves, como pezones suplementarios o marcas de nacimiento, son bastante frecuentes.

Hasta el 50% de las concepciones generan cigotos que no sobreviven a la fase de segmentación y se desintegran en la trompa uterina o la cavidad uterina; no se llega a producir la implantación, por lo que no aparecen los signos típicos de la gestación. La muerte del cigoto previa a la implantación se asocia normalmente a la existencia de anomalías cromosómicas. Aproximadamente el 20% de los embriones que se implantan no alcanzará el quinto mes de desarrollo y su promedio de supervivencia se sitúa en 8 semanas. La mayoría de estos casos de muerte embrionaria se atribuyen a problemas graves que alteran la embriogenia temprana o la formación de la placenta.

La mortalidad prenatal tiende a destruir a los fetos más afectados, mientras que aquellos con anomalías menos graves pueden sobrevivir hasta el parto a término o pretérmino. Las **malformaciones congénitas** son anomalías estructurales que están presentes en el momento del nacimiento y afectan a sistemas orgánicos importantes. Algunas de las anomalías congénitas más frecuentes son la espina bífida, la hidrocefalia, la anencefalia, el labio leporino y el síndrome de Down. La incidencia de estas anomalías en neonatos ronda un 6%, aunque tan sólo el 2% de ellas se califica de grave. Únicamente el 10% de estas anomalías congénitas se puede atribuir a factores ambientales en ausencia de alteraciones cromosómicas o factores genéticos, como los antecedentes familiares de anomalías semejantes o relacionadas.

El perfeccionamiento de las tecnologías médicas nos permite profundizar en la comprensión y la manipulación de diversos procesos anatómicos y fisiológicos. El análisis genético de los futuros padres permite calcular la probabilidad de ciertas anomalías, aunque el control de los trastornos asociados a ellas queda fuera del control de los profesionales médicos. Incluso cuando entendamos mejor los mecanismos genéticos de base, es probable que no logremos controlar todos los aspectos del desarrollo ni, por tanto, evitar los abortos espontáneos ni las anomalías congénitas. El desarrollo prenatal se sustenta en muchísimos pasos complejos e interdependientes, por lo que los errores de diversa naturaleza parecen inevitables desde el punto de vista estadístico.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Pueden llevar a cabo la fecundación de manera inmediata los espermatozoides que acceden a la vagina? Explique su respuesta.
2. ¿Por qué es necesario que un número importante de espermatozoides llegue hasta el ovocito secundario para llevar a cabo la fecundación?
3. ¿Qué cambios tienen lugar en el ovocito inmediatamente después de la entrada del espermatozoide en el ovoplasma?
4. ¿Qué procesos tienen lugar a lo largo del primer trimestre?

Véase «Respuestas» al final del libro.

Primer trimestre

El feto presenta una longitud de unos 75 mm y un peso cercano a los 14 g al concluir el primer trimestre. Los acontecimientos que tienen lugar a lo largo de esta etapa son complejos y el primer trimestre constituye el período más peligroso de la existencia prenatal. Tan sólo en el 40% de las concepciones el embrión logra sobrevivir a este período, por lo que se suele recomendar a las embarazadas que no consuman fármacos ni se expongan a otros factores perjudiciales durante este trimestre inicial con la esperanza de evitar errores en los procesos embrionarios y fetales que tienen lugar a lo largo del mismo.

Durante el primer trimestre se suceden numerosos acontecimientos embriológicos relevantes y complejos. Los resúmenes de embriología del capítulo 3 ofrecen una visión general de dos señalados períodos secuenciales de este trimestre: 1) la formación de tejidos, y 2) el desarrollo del tejido epitelial y el origen del tejido conjuntivo. Cada uno de estos períodos del desarrollo se caracteriza por unos rasgos distintivos que sería conveniente revisar en este momento [pp. 79-81].

Esta sección abordará cuatro procesos generales: la *segmentación*, la *implantación*, la *placentación* y la *embriogenia*.

1. La **segmentación** es una secuencia de divisiones celulares que comienza inmediatamente después de la fecundación y concluye tras el primer contacto con la pared uterina. El cigoto se convierte en un **pre-embrión** que da lugar a una masa multicelular conocida como **blastocisto** (la segmentación y la formación del blastocisto se describieron en «Resumen de embriología» del capítulo 3) [p. 79].
2. La **implantación** se inicia con la unión del blastocisto al endometrio y continúa conforme se introduce en la pared uterina. A medida que avanza la implantación se suceden otros acontecimientos relevantes que preparan el terreno para la formación de algunas estructuras embrionarias clave.
3. La **placentación** se pone en marcha con la creación de vasos sanguíneos alrededor del blastocisto, lo que constituye la fase inicial de la formación de la placenta. Los sistemas materno y embrionario se relacionan a través de la placenta, cuyo apoyo respiratorio y nutricional al embrión desempeña un papel clave en el desarrollo prenatal posterior.

4. La **embriogenia** se define como el proceso de formación de un embrión viable. Da lugar al cuerpo del embrión y sus órganos internos.

Segmentación y formación del blastocisto [v. figura 28.2]

La segmentación (**v. figura 28.2**) corresponde a una serie de divisiones celulares que subdividen el citoplasma del cigoto en unas células de menor tamaño llamadas **blastómeros.** La primera división de segmentación genera un preembrión formado por dos blastómeros idénticos. Esta división finaliza unas 30 horas después de la fecundación y las siguientes se suceden a intervalos de 10 a 12 horas. Todos los blastómeros sufren mitosis simultáneas durante las divisiones iniciales de este proceso, pero el intervalo que transcurre entre dos divisiones consecutivas se hace menos predecible conforme se amplía la población de blastómeros.

En esta etapa, que recibe el nombre de **mórula** (*morula*, mora), el preembrión se compone de una masa sólida de células que remeda una mora. Después de 5 días de divisiones de segmentación, los blastómeros forman

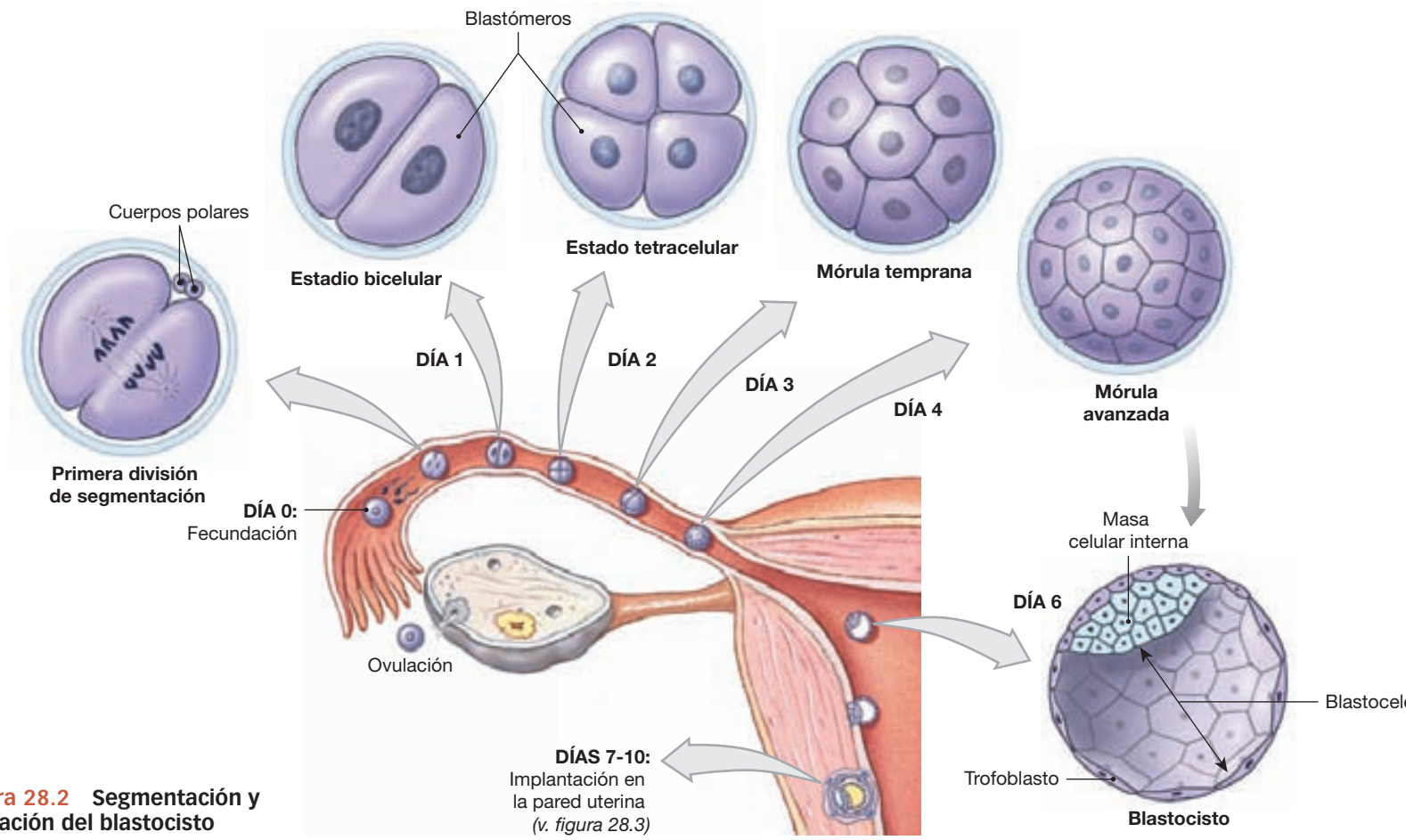


Figura 28.2 Segmentación y formación del blastocisto

Nota clínica

Teratógenos y anomalías del desarrollo Los **teratógenos** son estímulos que alteran el desarrollo fetal normal al provocar daños a las células, alterar su estructura cromosómica o interferir en el mecanismo de inducción normal. Los pesticidas, los herbicidas y algunos fármacos con receta, como ciertos antibióticos, tranquilizantes, sedantes, hormonas esteroideas, diuréticos, anestésicos y analgésicos, pueden ejercer efectos teratogénicos. Las embarazadas han de leer las advertencias del prospecto antes de consumir algún fármaco que no haya sido recomendado por un médico. La mayoría de los fitoproductos y sustancias «naturales» no se ha estudiado y su composición química puede variar dependiendo del fabricante. No se deben considerar seguros por defecto en el embarazo, ya que se desconocen cuáles son sus efectos durante este período.

La **fetopatía alcohólica (FA)** se produce cuando el consumo materno de alcohol origina anomalías congénitas en el feto, como deformaciones esqueléticas, anomalías cardiovasculares y alteraciones neurológicas. La tasa de mortalidad fetal puede llegar al 17% y los fetos supervivientes se ven afectados por numerosos problemas durante su desarrollo posterior. Los casos más graves se dan en embarazadas que consumen, al menos, 2 dL de bebidas alcohólicas fuertes, 10 cervezas o dos botellas de vino al día. Sin embargo, es posible que no exista ningún nivel de consumo de alcohol completamente seguro, dado que los efectos presentan una relación directa con el grado de exposición. La fetopatía alcohólica representa la principal causa de retraso mental en EE. UU., país en el que afecta a unos 7.500 neonatos cada año.

El tabaquismo supone otro hábito de riesgo destacado para el feto en desarrollo. Además de exponerlo a sustancias químicas posiblemente nocivas, como la nicotina, el tabaquismo reduce la P_{O_2} de la sangre materna y, por tanto, la cantidad de oxígeno disponible para la placenta. El crecimiento del feto de una madre fumadora no es tan rápido como en una no fumadora; el tabaquismo potencia los riesgos de aborto espontáneo, prematuridad y muerte fetal. Asimismo, la mortalidad neonatal también es más alta en los hijos de embarazadas fumadoras y este hábito puede influir negativamente en el desarrollo posnatal.

una esfera hueca, el **blastocisto,** cuya cavidad interna se conoce como **blastocele.** En esta etapa se pueden visualizar ya las diferencias existentes entre las distintas células que integran el blastocisto. La capa celular externa, que separa el blastocele del ambiente exterior, se llama **trofoblasto,** cuya función indica su nombre (*trophos*, alimentos; *blast*, precursor), ya que se ocupa de alimentar al embrión en desarrollo. Las células trofoblásticas son las únicas células pre-embrionarias que se encuentran en contacto con la pared uterina. Un segundo grupo celular, la **masa celular interna,** se agrupa en un extremo del blastocisto. Estas células están en contacto con el blastocele, pero el trofoblasto las aísla del entorno exterior. Las células de la masa celular interna son las células madre que darán lugar a todas las células y tipos celulares del organismo.

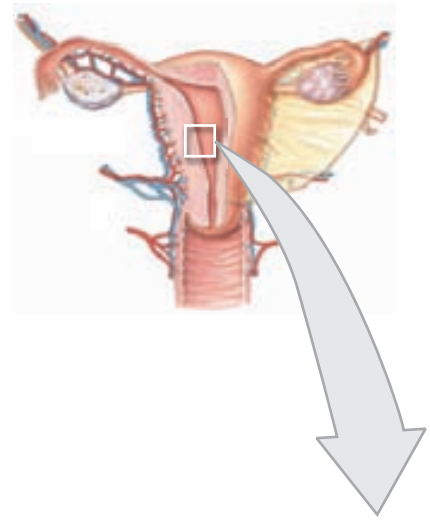
Implantación [v. figura 28.3]

En el momento de la fecundación, el cigoto se halla a 4 días de distancia del útero. Cuando alcanza la cavidad uterina, se encuentra en estadio de mórula y se transformará en el blastocisto a lo largo de los 2 o 3 días siguientes, durante los cuales las células absorben nutrientes presentes en el líquido de la cavidad uterina. Las glándulas endometriales secretan este líquido, que es rico en glucógeno. El blastocito totalmente desarrollado entra en contacto con el endometrio, por lo general en el fondo o el cuerpo del útero, y tiene lugar la implantación. En la **figura 28.3** se representan las fases que integran el proceso de implantación.

La implantación comienza cuando la superficie blastocística más cercana a la masa celular roza el revestimiento uterino y se adhiere al mismo (*v. día 7,* **figura 28.3**). Las células trofoblásticas presentes en el punto de contacto se dividen con gran rapidez y condicionan un aumento del grosor de esta capa. Las membranas celulares que separan a las células trofoblásticas desaparecen en la proximidad de la pared endometrial, lo que da lugar a una capa de citoplasma con varios núcleos *(día 8)*. Esta capa externa, conocida como **sincitiotrofoblasto,** comienza a erosionar el epitelio uterino mediante la acción de la enzima *hialuronidasa*. Esta enzima degrada el cemento intercelular en el que se encuentran inmersas las células epiteliales adyacentes, igual que la hialuronidasa liberada por los espermatozoides destruye las conexiones entre las células de la corona radiada. Inicialmente, la degradación crea un espacio en el revestimiento uterino, que pronto se repara mediante la migración y las divisiones de las células epiteliales adyacentes. Tras su reparación, el blastocisto se separa de la cavidad uterina y se hunde por completo en el endometrio. A partir de este momento, el desarrollo tiene lugar en la capa funcional del endometrio.

Conforme avanza el proceso de implantación, el sincitiotrofoblasto continúa creciendo en el endometrio en el que se encuentra inmerso *(día 9)*. Este proceso provoca la alteración y la digestión enzimática de las glándulas uterinas. Absorbe los nutrientes así liberados, que se distribuyen por difusión en el **trofoblasto celular** subyacente hacia la masa celular interna. Estos nutrientes aportan la energía necesaria para las fases iniciales del desarrollo embrionario. Se forman extensiones trofoblásticas alrededor de los capilares endometriales y la sangre materna comienza a percolar a través de unos canales trofoblásticos conocidos como **lagunas** conforme se destruyen las paredes de los capilares. El trofoblasto proyecta unas **vellosidades primarias** filiformes hacia el endometrio circundante; cada vellosidad primaria se compone de una extensión del sincitiotrofoblasto y una porción del trofoblasto celular. A lo largo de los días siguientes, el trofoblasto comienza a degradar las paredes de venas y arterias de mayor calibre para potenciar la irrigación a través de las lagunas.

Formación del blastodisco [v. figuras 28.3/28.4] En la fase inicial del blastocisto, las células de la masa interna apenas presentan una organización visible, pero en el momento de la implantación ya han comenzado a separarse del trofoblasto. Esta separación aumenta de manera paulatina y da lugar a una cámara rellena de líquido, la **cavidad amniótica.** Se puede observar en el *día 9* de la **figura 28.3**, mientras que los *días 10-12* de la **figura 28.4** ofrecen detalles adicionales. En esta etapa, las células de la masa celular interna se organizan en una lámina ovalada que consta de dos capas



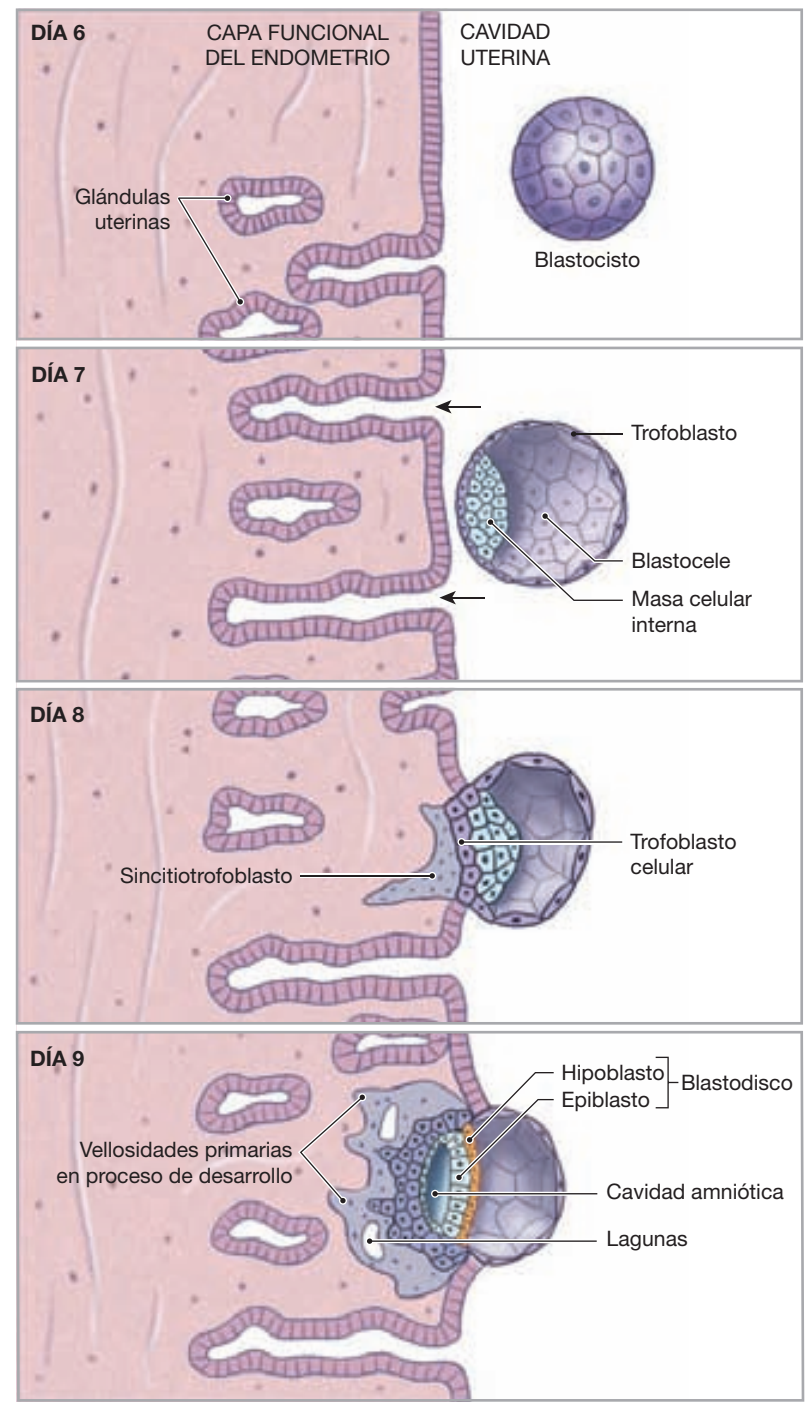
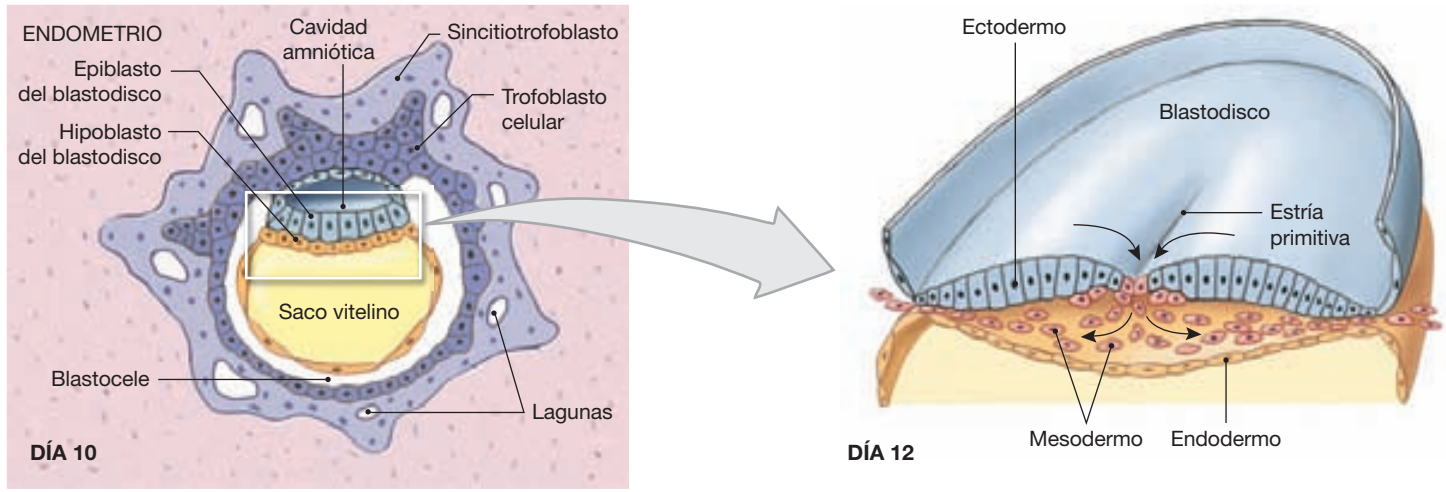


Figura 28.3 Estadios del proceso de implantación



Inicialmente, el blastodisco se compone de dos capas: el *epiblasto,* en contacto con la cavidad amniótica, y el *hipoblasto,* que se encuentra expuesto al blastocele. La formación del amnios se pone en marcha con migración de las células epiblásticas en la cavidad amniótica. La migración de las células hipoblásticas origina un saco por debajo del blastodisco, con lo que comienza la formación del saco vitelino.

La migración de las células epiblásticas hacia el espacio comprendido entre el epiblasto y el hipoblasto crea una tercera capa en el blastodisco. A partir del inicio de este proceso (gastrulación), el epiblasto recibirá el nombre de *ectodermo,* el hipoblasto será el *endodermo* y las células migratorias serán el *mesodermo.*

Figura 28.4 Organización del blastodisco y gastrulación

celulares. El óvalo, que recibe el nombre de **blastodisco,** se compone inicialmente de dos capas epiteliales: el **epiblasto,** en contacto con la cavidad amniótica, y el **hipoblasto,** que se encuentra expuesto al líquido contenido en el blastocele.

Gastrulación y formación de la capa germinal [v. figura 28.4 y tabla 28.1] Algunos días después comienza a formarse una tercera capa mediante **gastrulación** (*v. día 12,* figura 28.4). A lo largo de este proceso, las células de algunas regiones específicas del epiblasto emigran hacia una línea llamada **estría primitiva** del centro del blastodisco. Al llegar a ella, las células abandonan la superficie y pasan al espacio comprendido entre el epiblasto y el hipoblasto. Como consecuencia de este movimiento se crean tres capas embrionarias diferentes que correrán distinta suerte. Tras el comienzo de la gastrulación, la capa que permanece en contacto con la cavidad aminótica se denomina **ectodermo,** el hipoblasto se conoce como **endodermo** y la nueva capa de separación se llama **mesodermo.** En el resumen de embriología del capítulo 3 se trató la formación del mesodermo y los destinos embriológicos de estas tres **capas germinales** [p. 79]. En la tabla 28.1 se incluye una relación más completa de las contribuciones de cada capa germinal a los distintos sistemas orgánicos.

Formación de las membranas extraembrionarias [v. figura 28.5] Las capas germinales, además de dar lugar a las estructuras y órganos corporales, generan cuatro estructuras que se localizan fuera del embrión. Estas estructuras, las **membranas extraembrionarias,** son: 1) el *saco vitelino* (endodermo y mesodermo); 2) el *amnios* (ectodermo y mesodermo); 3) el *alantoides* (endodermo y mesodermo), y 4) el *corion* (mesodermo y trofoblasto). Estas membranas colaboran con el desarrollo embrionario y fetal a través del mantenimiento de un entorno constante y estable y el acceso al oxígeno y los nutrientes transportados por el torrente circulatorio materno. Apenas quedan vestigios de estas membranas en el organismo adulto a pesar de su enorme importancia durante el período prenatal. En la figura 28.5 se representan algunas fases del desarrollo de las membranas extraembrionarias.

Saco vitelino [v. figuras 28.4/28.5] La primera membrana extraembrionaria en formarse es el **saco vitelino** (v. figuras 28.4 y 28.5). Comienza a desarrollarse cuando las células hipoblásticas migran alrededor de los bordes externos del blastocele para crear una bolsa completa suspendida por debajo del blastodisco. Esta bolsa es susceptible de visualización a partir del

TABLA 28.1 Destinos de las capas germinales primarias

Aportaciones del ectodermo

Sistema integumentario: epidermis, folículos pilosos y pelos, uñas y glándulas que desembocan en la piel (glándulas sudoríparas apocrinas y merocrinas, glándulas mamarias y glándulas sebáceas)

Sistema óseo: cartílagos faríngeos y estructuras derivadas de ellos en el adulto (porción del esfenoides, huesecillos del oído, apófisis estiloide de los huesos temporales, astas y reborde superior del hueso hioides)*

Sistema nervioso: todos los tejidos neurales, lo que incluye al cerebro y la médula espinal

Sistema endocrino: hipófisis y médula suprarrenal

Aparato respiratorio: epitelio mucoso de fosas nasales

Aparato digestivo: epitelio mucoso de la boca y el ano; glándulas salivales

Aportaciones del mesodermo

Sistema tegumentario: dermis, con excepción de las estructuras derivadas de la epidermis.

Sistema óseo: todos los componentes, con excepción de algunas estructuras derivadas de la faringe.

Sistema muscular: todos los componentes

Sistema endocrino: corteza suprarrenal y tejidos endocrinos del corazón, los riñones y las gónadas

Aparato cardiovascular: todos los componentes, lo que incluye la médula ósea

Sistema linfático: todos los componentes

Aparato urinario: los riñones, lo que incluye las nefronas y los segmentos iniciales del sistema colector

Aparato reproductor: las gónadas y las porciones adyacentes de los sistemas de conductos

Varios: revestimiento de las cavidades corporales (torácica, pericárdica, peritoneal) y tejidos conjuntivos que sustentan todos los sistemas orgánicos

Aportaciones del endodermo

Sistema endocrino: timo, tiroides y páncreas

Aparato respiratorio: epitelio respiratorio (salvo las fosas nasales) y glándulas mucosas asociadas

Aparato digestivo: epitelio mucoso (con excepción de la boca y el ano); glándulas exocrinas (con excepción de las glándulas salivales); hígado y páncreas

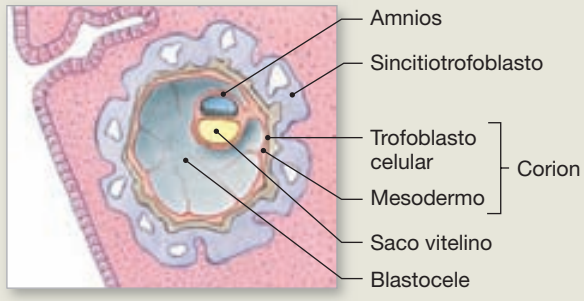
Aparato urinario: vejiga urinaria y porciones distales del sistema de conductos

Aparato reproductor: porciones distales del sistema de conductos; células madre que dan lugar a gametos

*La cresta neural es de origen ectodérmico y participa en la formación del cráneo y los derivados esqueléticos de los arcos faríngeos embrionarios.

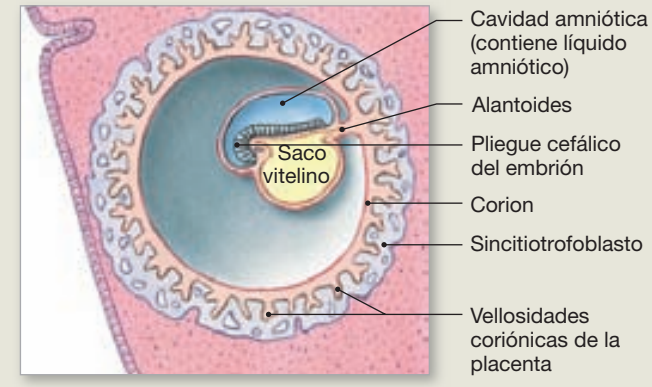
(a) SEMANA 2

La migración del mesodermo en la superficie interna del trofoblasto da lugar al corion. La migración de esta capa alrededor de la superficie externa de la cavidad amniótica, en el espacio comprendido entre las células ectodérmicas y el trofoblasto, origina el amnios, mientras que su migración alrededor de la bolsa endodérmica produce el saco vitelino.



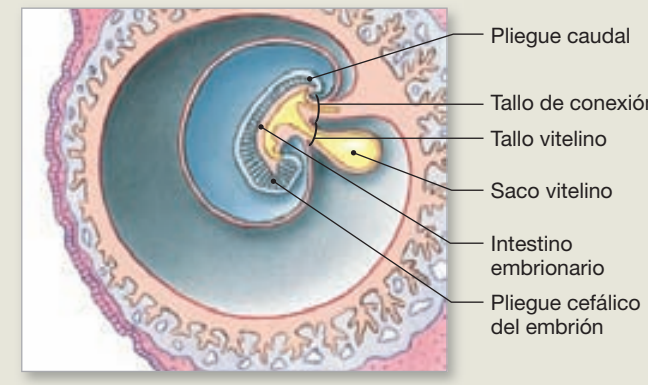
(b) SEMANA 3

El disco embrionario se proyecta hacia la cavidad amniótica en el pliegue cefálico. El alantoides, una extensión endodérmica rodeada por el mesodermo, crece hacia el trofoblasto.



(c) SEMANA 4

En este momento, el embrión posee un pliegue cefálico y un pliegue caudal. Las conexiones entre el embrión y el trofoblasto circundante se contraen, lo que estrecha el tallo vitelino y el tallo de conexión.



(d) SEMANA 5

El embrión y las membranas extraembrionarias en desarrollo sobresalen hacia la cavidad uterina. El trofoblasto que se proyecta hacia la luz uterina continúa estando recubierto de endometrio, pero deja de participar en la absorción de nutrientes y el sostén del embrión. El embrión se separa de la placenta y el tallo de conexión y el tallo vitelino, y crean un tallo umbilical.

(e) SEMANA 10

Las dimensiones del amnios han aumentado de forma notable, de modo que ocupa la cavidad uterina. Un cordón umbilical alargado que contiene una parte del alantoides, vasos sanguíneos y los restos del saco vitelino, conecta al embrión con la placenta.

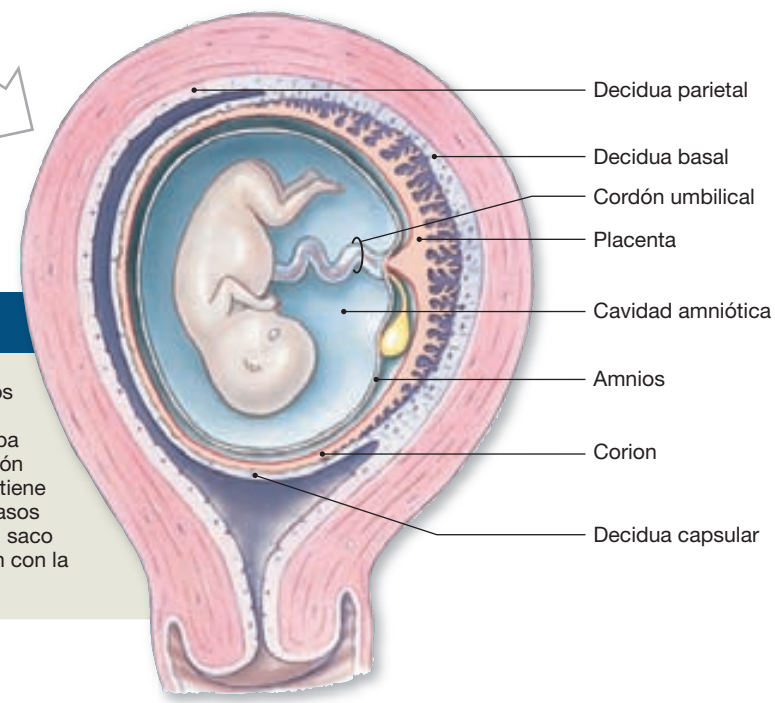


Figura 28.5 **Formación de las membranas embrionarias y la placenta**

décimo día posterior a la fecundación (v. figura 28.4). A medida que avanza la gastrulación, la migración de las células mesodérmicas alrededor de esta bolsa pone punto y final a la formación del saco vitelino. En poco tiempo comienzan a aparecer vasos sanguíneos en el mesodermo y el saco vitelino se convierte en un área destacada de formación inicial de vasos sanguíneos.

Amnios [v. figura 28.5a,b,e] La capa ectodérmica sufre también un proceso de expansión, de modo que las células ectodérmicas migran a lo largo de la superficie interna de la cavidad amniótica. Poco después tiene lugar la migración de las células mesodérmicas, que dan lugar a una segunda capa externa. Esta combinación de ectodermo y mesodermo se conoce como **amnios** (v. figura 28,5a,b). Esta membrana continúa expandiéndose conforme crecen el embrión y, más tarde, el feto, de modo que aumenta el volumen de la cavidad amniótica. Esta cavidad contiene **líquido amniótico,** que rodea y protege al embrión o el feto en desarrollo (v. figura 28.5b,e).

Alantoides [v. figura 28.5b] La tercera membrana extraembrionaria comienza a formarse como una evaginación endodérmica próxima a la base del saco vitelino (v. figura 28.5b). Su extremo libre se extiende hacia la pared del blastocisto y se rodea de una masa de células mesodérmicas. Este saco de endodermo y mesodermo es el **alantoides,** cuya base dará lugar a la vejiga urinaria. La formación del alantoides y su relación con la vejiga urinaria se representan en «Resumen de embriología» de este capítulo: «El desarrollo del aparato urinario».

Corion [v. figura 28.5a,b] El mesodermo asociado al alantoides se expande hasta revestir completamente el interior del trofoblasto, de modo que da lugar a una capa mesodérmica por debajo del mismo. Esta combinación de mesodermo y trofoblasto se denomina **corion** (v. figura 28.5a,b).

Cuando comienza la implantación, los nutrientes absorbidos por el trofoblasto llegan fácilmente al blastodisco por difusión simple. Sin embargo, la distancia entre el embrión y el complejo trofoblástico aumenta conforme van creciendo, por lo que la mera difusión no puede ya satisfacer las necesidades del embrión en desarrollo. El corion resuelve esta dificultad, ya que los vasos sanguíneos del mesodermo conforman un sistema de tránsito rápido que vincula el embrión con el trofoblasto. A principios de la tercera semana del desarrollo, cuando el corazón comienza a latir, se pone en marcha la circulación de la sangre en los vasos coriónicos.

Placentación [v. figura 28.5b,c,d,e]

La aparición de vasos sanguíneos en el corion constituye la etapa inicial de la formación de una placenta funcional. Hacia la tercera semana del desarrollo (v. figura 28.5b), el mesodermo ocupa la porción central de cada vellosidad trofoblástica, lo que crea **vellosidades coriónicas** que se encuentran en contacto con los tejidos maternos. Estas vellosidades continúan creciendo y ramificándose hasta crear una compleja red en el endometrio. Se prolonga el proceso de erosión de los vasos sanguíneos maternos y la sangre materna percola con lentitud a través de lagunas tapizadas por el sincitiotrofoblasto. Los nutrientes difunden desde la sangre materna que fluye a través de las lagunas hacia la sangre fetal a través de los vasos de las vellosidades coriónicas.

En un primer momento, las vellosidades coriónicas rodean al blastocisto en su totalidad. El corion crece y se expande en el endometrio como si se tratara de un globo; hacia la cuarta semana, el embrión, el amnios y el saco vitelino se encuentran suspendidos en una cámara rellena de líquido en proceso de expansión (v. figura 28.5c). La conexión del embrión con el corion, el **tallo de conexión,** contiene las porciones distales del alantoides y los vasos sanguíneos que irrigan la placenta. La estrecha unión del endodermo embrionario y el saco vitelino recibe el nombre de **tallo vitelino.** En «Resumen de embriología» de este capítulo posteriormente se ilustra la formación del tallo de conexión y el tallo vitelino: «El desarrollo del aparato digestivo».

La placenta no continúa creciendo de forma indefinida. Comienza a adquirir una organización regional diferenciada cuando su expansión crea una prominencia en la superficie endometrial. La porción endometrial de grosor relativamente estrecho que recubre al embrión y lo separa de la cavidad uterina se llama **decidua capsular** (*deciduus*, que se desprende). Esta capa no participa ya en el intercambio de nutrientes, por lo que pierde las vellosidades coriónicas (v. figura 28.5d). Las funciones de la placenta se concentran en un área discoide localizada en la porción más profunda del endometrio, la **decidua basal.** El resto del endometrio, que no se encuentra en contacto con el corion, representa la **decidua parietal.** El feto se va alejando de la placenta conforme se acerca el final del primer trimestre (v. figura 28.5d,e), a la que se conecta a través del **cordón umbilical,** o *tallo umbilical*, que contiene el alantoides, vasos sanguíneos placentarios y el tallo vitelino.

La nutrición, la respiración y la eliminación de residuos del feto en desarrollo dependen por completo de los sistemas orgánicos maternos, que deben ocuparse de estas funciones externas además de sus operaciones habituales. Por ejemplo, la madre debe absorber suficiente oxígeno, nutrientes y vitaminas para satisfacer sus necesidades y las del feto, además de eliminar todos los residuos generados. Aunque durante las semanas iniciales de la gestación esto no suponga ninguna carga, a lo largo de los trimestres siguientes estas demandas serán notables conforme aumente el tamaño fetal. En la práctica, la madre ha de respirar, comer y excretar por dos.

Circulación placentaria [v. figura 28.6] En la figura 28.6a se esquematiza la circulación placentaria al finalizar el primer trimestre. La sangre pasa del feto hacia la placenta a través de un par de **arterias umbilicales** y vuelve a aquel a través de la **vena umbilical.** Las vellosidades coriónicas (v. figura 28.6b) conforman una superficie a través de la cual se produce el intercambio entre los torrentes circulatorios materno y fetal. Como se ha señalado en el capítulo 27, la placenta fabrica también algunas hormonas relevantes que influyen tanto en los tejidos maternos como en los embrionarios [p. 741]. La síntesis de gonadotropina coriónica humana (HCG) comienza a los pocos días de la implantación; esta molécula estimula la producción de progesterona por el cuerpo lúteo durante las etapas iniciales de la gestación. Durante el segundo y el tercer trimestres, la placenta secreta además progesterona, estrógenos, lactógeno placentario humano (HPL) y relaxina. El trofoblasto sintetiza y libera estas hormonas al torrente circulatorio materno.

Embriogenia [v. figuras 28.5b,c/28.7 y tabla 28.2]

Poco después del comienzo de la gastrulación, el plegamiento y el crecimiento diferencial del disco embrionario dan lugar a una prominencia que se extiende hacia la cavidad amniótica (v. figura 28.5b). Esta proyección recibe el nombre de **pliegue cefálico;** otro movimiento similar genera el **pliegue caudal** (v. figura 28.5c). En este momento, el **embrión** se encuentra separado físicamente y desde el punto de vista del desarrollo del resto del blastodisco y las membranas extraembrionarias. Se puede visualizar la orientación final del embrión, además de las superficies dorsal y ventral y los lados izquierdo y derecho. En la figura 28.7 se muestran muchos de los cambios de tamaño y aspecto que tienen lugar entre la cuarta semana de desarrollo y el final del primer trimestre.

El primer trimestre representa un período clave del proceso de desarrollo, ya que los acontecimientos que suceden a lo largo del mismo establecen los cimientos del proceso de desarrollo de órganos, conocido como **organogenia.** En la tabla 28.2 se enumeran algunos hitos de la organogenia en cada sistema orgánico.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué suerte corre la masa celular interna del blastocisto?
2. ¿Qué función desempeña el sincitiotrofoblasto?
3. ¿Qué sistemas derivan de la capa mesodérmica?
4. ¿Qué funciones desempeña la placenta?

Véase «Respuestas» al final del libro.

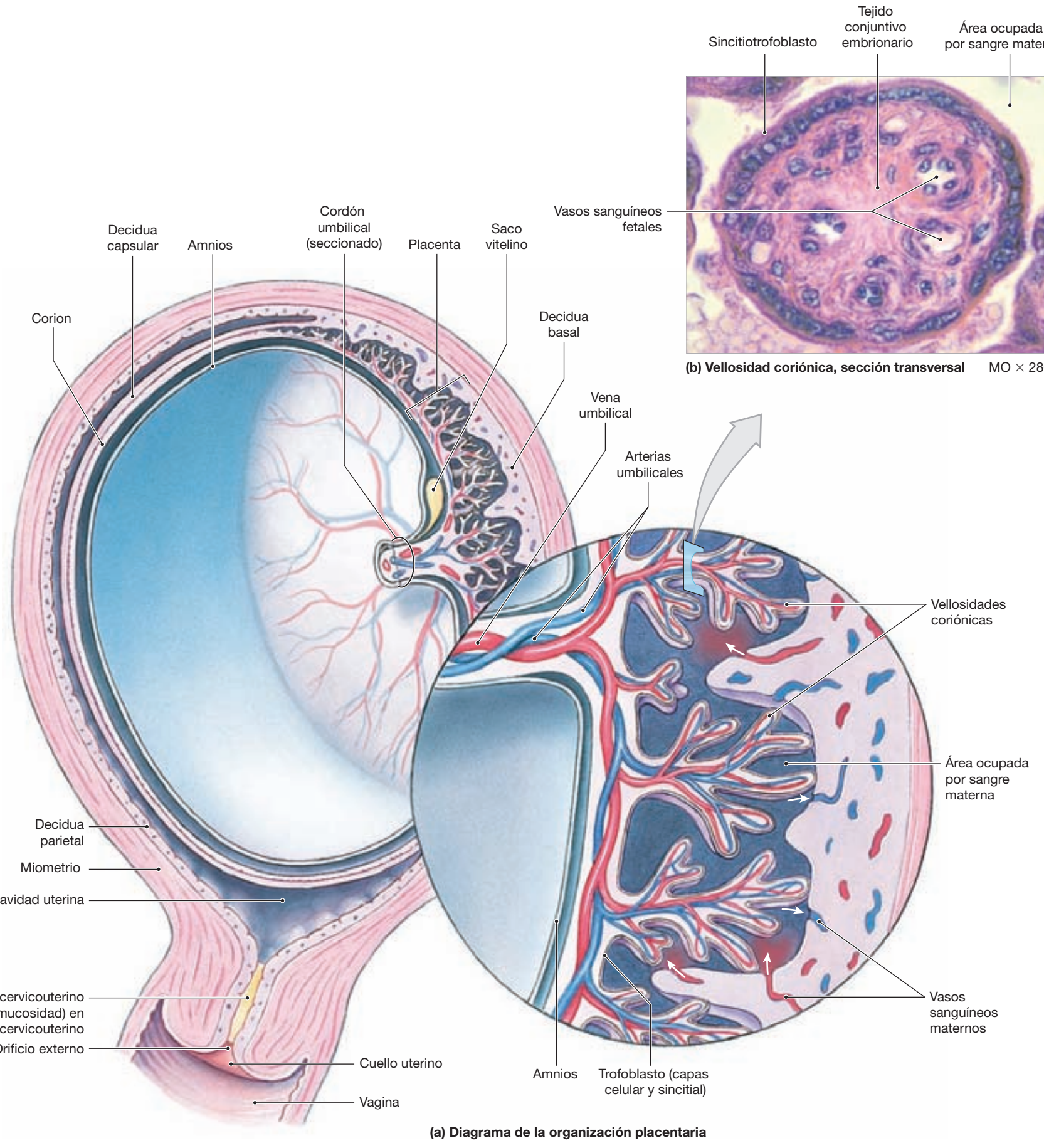


Figura 28.6 **Representación tridimensional de la estructura de la placenta**

(a) Se ha eliminado el embrión y se ha seccionado el cordón umbilical con el fin de mostrar con mayor claridad el útero. La sangre pasa hacia la placenta a través de arterias maternas rotas, desde las que fluye alrededor de las vellosidades coriónicas que contienen vasos sanguíneos fetales. Un par de arterias umbilicales transporta la sangre fetal, que posteriormente sale a través de una vena umbilical solitaria. La sangre materna pasa de nuevo al sistema venoso materno a través de las paredes rotas de venas uterinas de pequeño calibre. Se muestra la irrigación materna con flechas; las sangres materna y fetal no se mezclan. **(b)** Imagen histológica de una sección transversal de una vellosidad coriónica, en la que se representa el sincitiotrofoblasto expuesto al espacio sanguíneo materno.

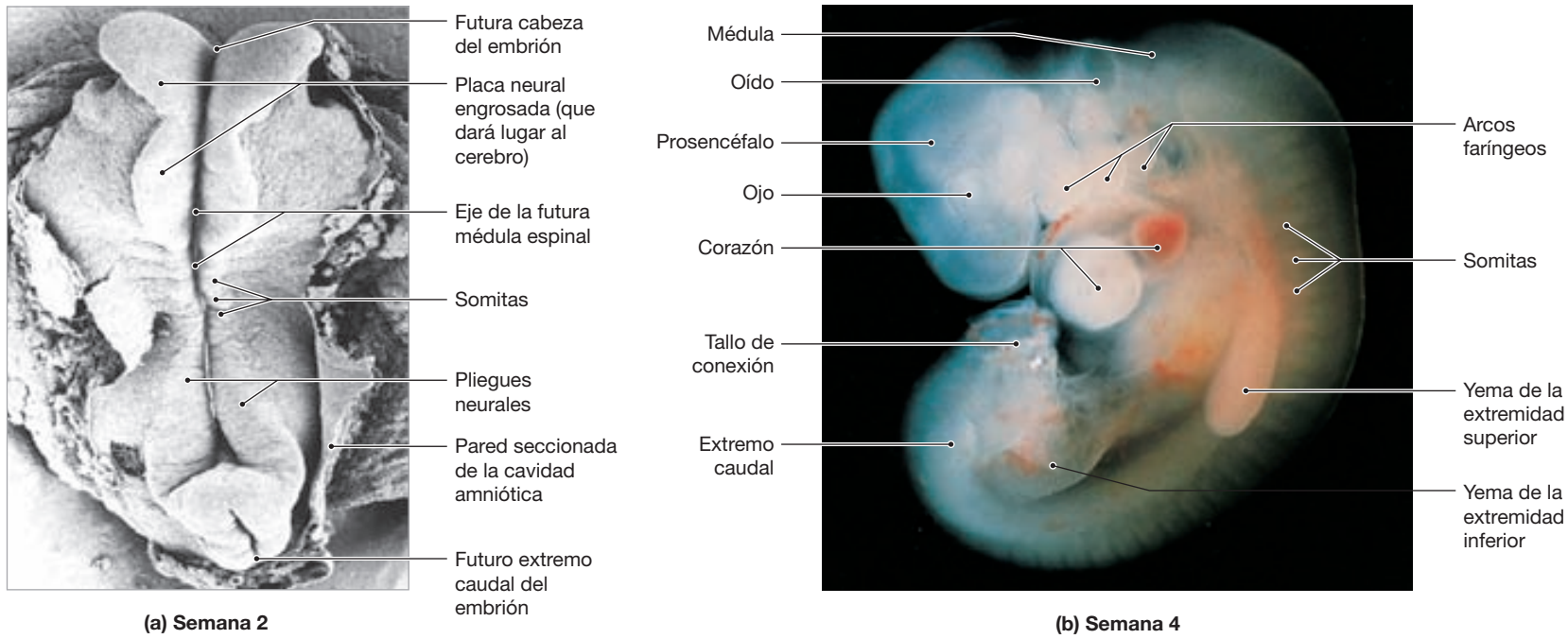


Figura 28.7 Primer trimestre
(a) Imagen de microscopía electrónica de barrido de un embrión de 2 semanas; se está produciendo la neurulación (formación del tubo neural). **(b-d)** Imágenes endoscópicas del desarrollo del ser humano durante el primer trimestre.

Segundo y tercer trimestres

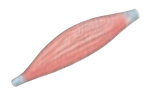
[v. figuras 28.7d/28.8/28.9 y tabla 28.2]

Al finalizar el primer trimestre (**v. figura 28.7d**)ya se han formado los rudimentos de los principales sistemas orgánicos. El desarrollo funcional de los mismos concluirá a lo largo de los 3 meses siguientes, de modo que el feto pesará aproximadamente 0,64 kg al final de esta etapa. Durante el segundo trimestre, el crecimiento del feto, rodeado por el amnios, supera al de la placenta. La cubierta mesodérmica del amnios se fusiona con el revestimiento interno del corion. En la **figura 28.8** se muestra una imagen endoscópica obtenida de un feto de 4 meses y una imagen ecográfica de un feto de 6 meses.

Todos los sistemas orgánicos del feto se tornan funcionales a lo largo del segundo trimestre. Comienza a ralentizarse la velocidad de crecimiento, si bien en términos absolutos el aumento de peso más importante se da en esta etapa, durante la cual el feto engorda unos 2,6 kg y su peso a término será de unos 3,2 kg. En los resúmenes de embriología incluidos al final de este capítulo se enumeran los acontecimientos más importantes del desarrollo durante el segundo y el tercer trimestres; en la tabla 28.2 se ofrece una relación de los hitos del desarrollo.

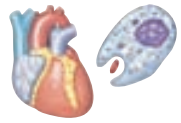
TABLA 28.2 Resumen del desarrollo prenatal

Material de apoyo en capítulo 3:
Formación de los tejidos (p. 79)
Desarrollo de los epitelios (p. 80)
Orígenes de los tejidos conjuntivos (p. 81)
Desarrollo de los sistemas orgánicos (pp. 82-83)

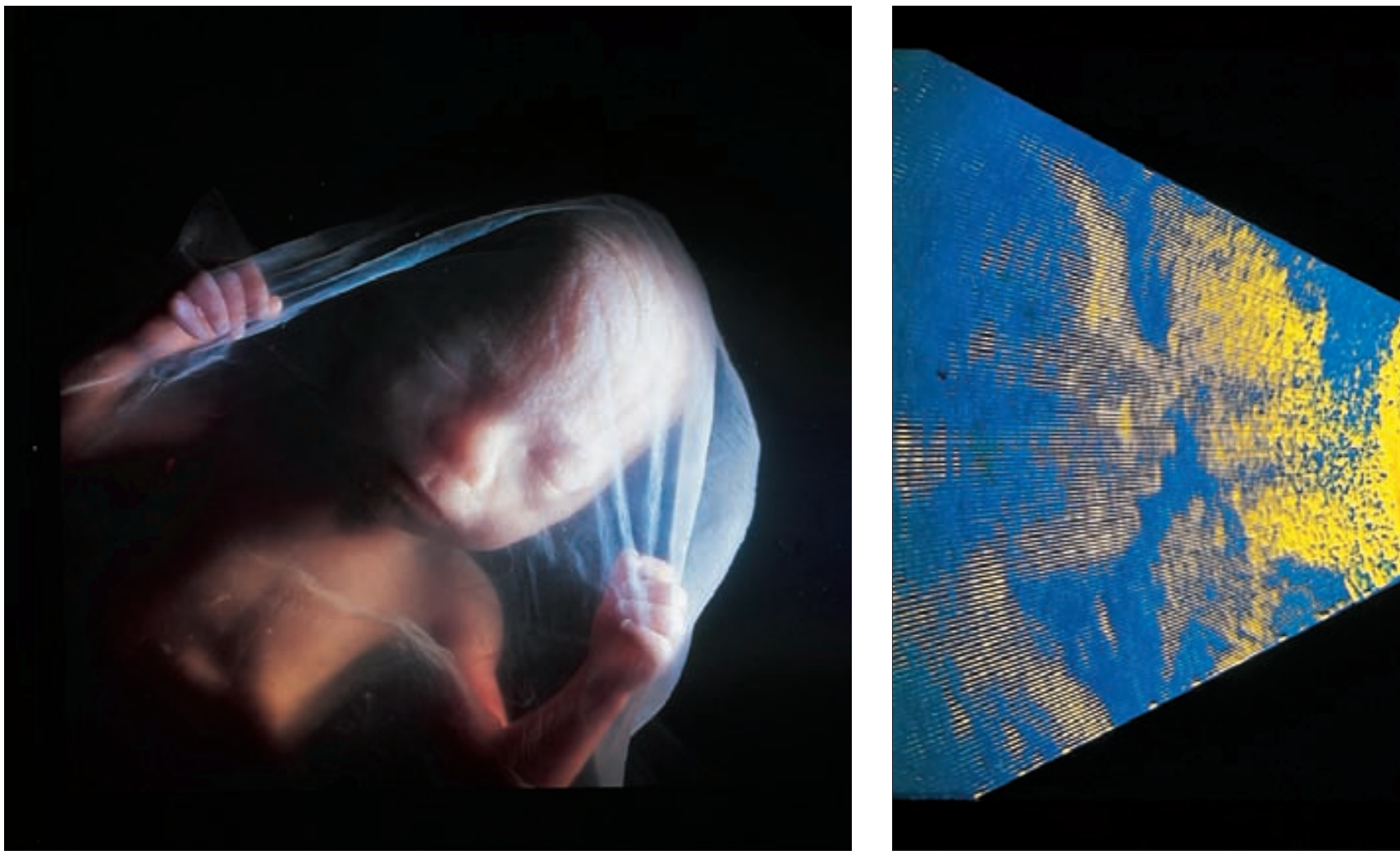


Edad gestacional (meses)	Tamaño y peso	Sistema tegumentario	Sistema óseo	Sistema muscular	Sistema nervioso	Órganos sensoriales especializados
1	5 mm 0,02 g		(b) Formación de somitas	(b) Formación de somitas	(b) Formación del tubo neural	(b) Formación del ojo y el oído
2	28 mm 2,7 g	(b) Formación de lechos ungueales, folículos pilosos y glándulas sudoríparas	(c) Formación de cartílagos axiales (de la cabeza y el tronco) y de las extremidades	(c) Rudimentos de la musculatura axial	(b) SNC, SNP, organización, desarrollo del encéfalo	(b) Formación de las papilas gustativas, epitelio olfativo
3	78 mm 26 g	(b) Aparición de capas epidérmicas	(b) Difusión de los puntos de osificación	(c) Rudimentos de la musculatura de las extremidades	(c) Estructura básica de la médula espinal y el encéfalo	
4	133 mm 150 g	(b) Formación de pelo, glándulas sebáceas (c) Glándulas sudoríparas	(b) Articulaciones (c) Organización facial y palatina	El feto comienza a moverse	(b) Expansión rápida del encéfalo	(c) Estructura básica del ojo y el oído (b) Formación de receptores periféricos
5	185 mm 460 g	(b) Producción de queratina, producción de uñas			(b) Mielinización de la médula espinal	
6	230 mm 823 g			(c) Musculatura perineal	(b) Formación del tubo del SNC (c) Formación de capas de la corteza	
7	270 mm 1.492 g	(b) Queratinización, formación de uñas, formación de pelo				(c) Se abren los párpados, la retina es sensible a la luz
8	310 mm 2.274 g		(b) Formación de cartílagos epifisarios			(c) Los receptores gustativos se tornan funcionales
9	346 mm 2.912 g					
Desarrollo posnatal		Cambios de consistencia y distribución capilares	Continúa la formación y el desarrollo de los cartílagos epifisarios	Aumento de la masa muscular y su control	Continúan la mielinización, formación de capas, formación del tubo del SNC	
Resúmenes de embriología de cada sistema/aparato		Desarrollo del sistema tegumentario (pp. 764-765)	Desarrollo del cráneo (pp. 766-767) Desarrollo de la columna vertebral (pp. 768-769) Desarrollo del esqueleto de las extremidades (pp. 770-771)	Desarrollo de los músculos (pp. 772-773)	Introducción al desarrollo del sistema nervioso (p. 774) Desarrollo de la médula espinal (pp. 775-776) Desarrollo del encéfalo (pp. 777-778)	Desarrollo de órganos sensoriales especializados (pp. 779-780)

Nota: (b) = inicio de la formación; (c) = formación completa.



Sistema endocrino	Aparato cardiovascular y sistema linfático	Aparato respiratorio	Aparato digestivo	Aparato urinario	Aparato reproductor
	(b) Latido cardíaco	(b) Formación de tráquea y pulmones	(b) Formación del tubo digestivo, hígado, páncreas (c) Saco vitelino	(c) Alantoides	
(b) Formación de timo, tiroides, hipófisis, glándulas suprarrenales	(c) Estructura básica del corazón, principales vasos sanguíneos, ganglios linfáticos y conductos linfáticos (b) Hematopoyesis en hígado	(b) Ramificación amplia de bronquios hacia el mediastino (c) Diafragma	(b) Formación de subdivisiones intestinales, vellosidades, glándulas salivales	(b) Formación del riñón (forma adulta)	(b) Formación de las glándulas mamarias
(c) Timo, tiroides	(b) Amígdalas, hematopoyesis en médula ósea		(c) Vesícula biliar, páncreas		(b) Formación de las gónadas, conductos y genitales definitivos
	(b) Migración de linfocitos hacia órganos linfáticos, hematopoyesis en bazo			(b) Degeneración de riñones embrionarios	
	(c) Amígdalas	(c) Se abren las narinas	(c) Subdivisiones intestinales		
(c) Glándulas suprarrenales	(c) Bazo, hígado, médula ósea	(b) Formación de alvéolos	(c) Organización epitelial, glándulas		
(c) Hipófisis			(c) Pliegues intestinales		(b) Descenso de los testículos
		Concluyen la ramificación pulmonar y la formación de alvéolos		La formación de las nefronas concluye tras el nacimiento	El descenso de los testículos finaliza al nacer o alrededor de este momento
	Modificación del sistema cardiovascular tras el nacimiento; el sistema linfático se torna completamente funcional				
Desarrollo del sistema endocrino (pp. 781-782)	Desarrollo del corazón (p. 783) Desarrollo del aparato cardiovascular (pp. 784-785) Desarrollo del sistema linfático (p. 786)	Desarrollo del aparato respiratorio (pp. 787-788)	Desarrollo del aparato digestivo (pp. 789-790)	Desarrollo del aparato urinario (pp. 791-792)	Desarrollo del aparato reproductor (pp. 793-795)



(a) Feto de 4 meses (imagen endoscópica) (b) Feto de 6 meses (imagen ecográfica)

Figura 28.8 Segundo y tercer trimestres
(a) Feto de 4 meses observado a través de un fibroendoscopio. **(b)** Imagen ecográfica de la cabeza de un feto de 6 meses.

Al final del embarazo, un útero típico se habrá hipertrofiado de manera notable, pasando de 7,5 cm de longitud a 30 cm, y contendrá casi 5 L de líquido. El útero y sus contenidos pesarán unos 10 kg. Esta extraordinaria expansión depende de la hiperplasia y la elongación de las fibras de músculo liso. En la figura 28.9 puede apreciarse la posición del útero, el feto y la placenta entre la semana 16 y el *término* del embarazo (9 meses). En este momento, los órganos abdominales se ven desplazados de sus posiciones normales por el útero y el feto (v. figura 28.9c).

Parto y alumbramiento

La finalidad del **parto** es la expulsión del feto, un proceso que recibe también el nombre de nacimiento. La acción combinada del aumento de las concentraciones de oxitocina y la mayor sensibilidad uterina a este mediador desencadenan el parto, ya que estimulan las *contracciones de parto* en el miometrio. A diferencia de los espasmos uterinos esporádicos que tienen lugar durante el *parto falso*, en el *parto verdadero* cada contracción de parto se origina en las inmediaciones del fondo uterino y avanza en forma de onda hacia el cuello uterino. Se trata de contracciones muy potentes que aparecen a intervalos regulares, y su fuerza y su frecuencia se incrementan conforme se acerca el parto, lo que cambia la posición del feto y lo acerca al canal cervicouterino.

Evolución del parto [v. figura 28.10]

Se suelen distinguir tres etapas en el parto (v. figura 28.10): la *fase de dilatación,* la *fase de expulsión* y la *fase de alumbramiento de la placenta*.

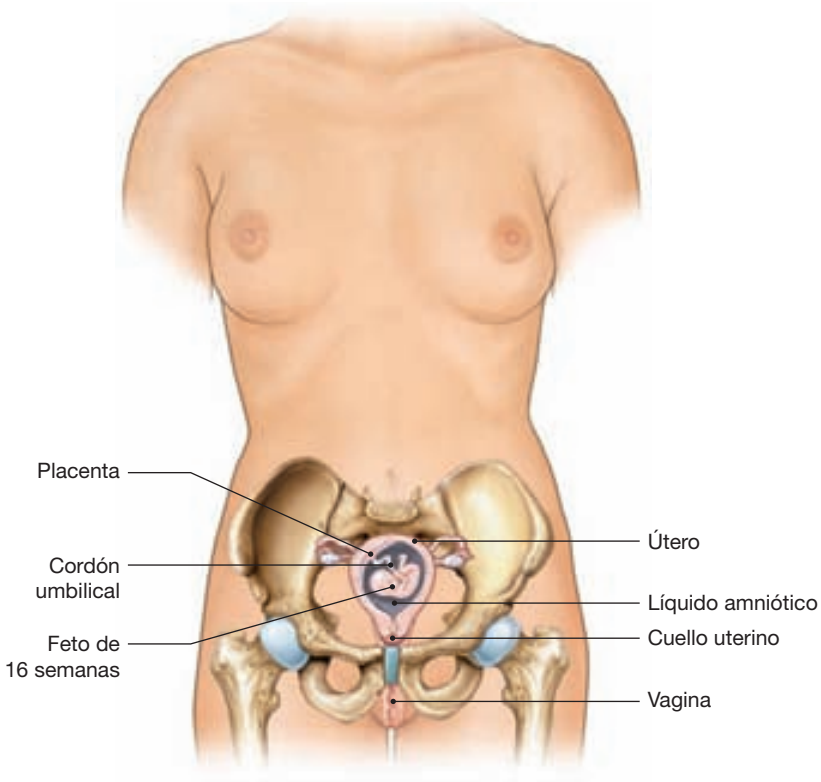
Fase de dilatación [v. figura 28.10a]

La **fase de dilatación** (v. figura 28.10a) se pone en marcha al comienzo del parto verdadero a medida que se dilata el cuello uterino y empieza a descender el feto a través del canal cervical uterino. Habitualmente, la duración de esta fase es de ocho o más horas, aunque a lo largo de la misma las contracciones aparecen cada 10 a 30 minutos. El amnios suele romperse al final de esta etapa, lo que recibe el nombre común de «romper aguas».

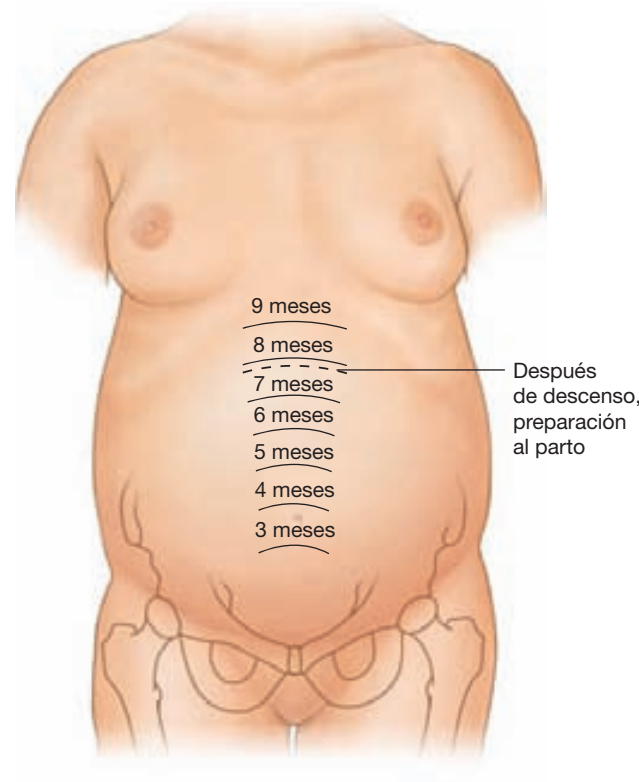
Fase de expulsión [v. figura 28.10b]

La **fase de expulsión** (v. figura 28.10b) se inicia cuando el canal cervical está totalmente dilatado como consecuencia de la presión que ejerce el feto al descender por el mismo. La fase continúa hasta la salida del feto de la vagina y su duración suele ser inferior a 2 horas. La salida del neonato al exterior supone su **nacimiento** o **parto.**

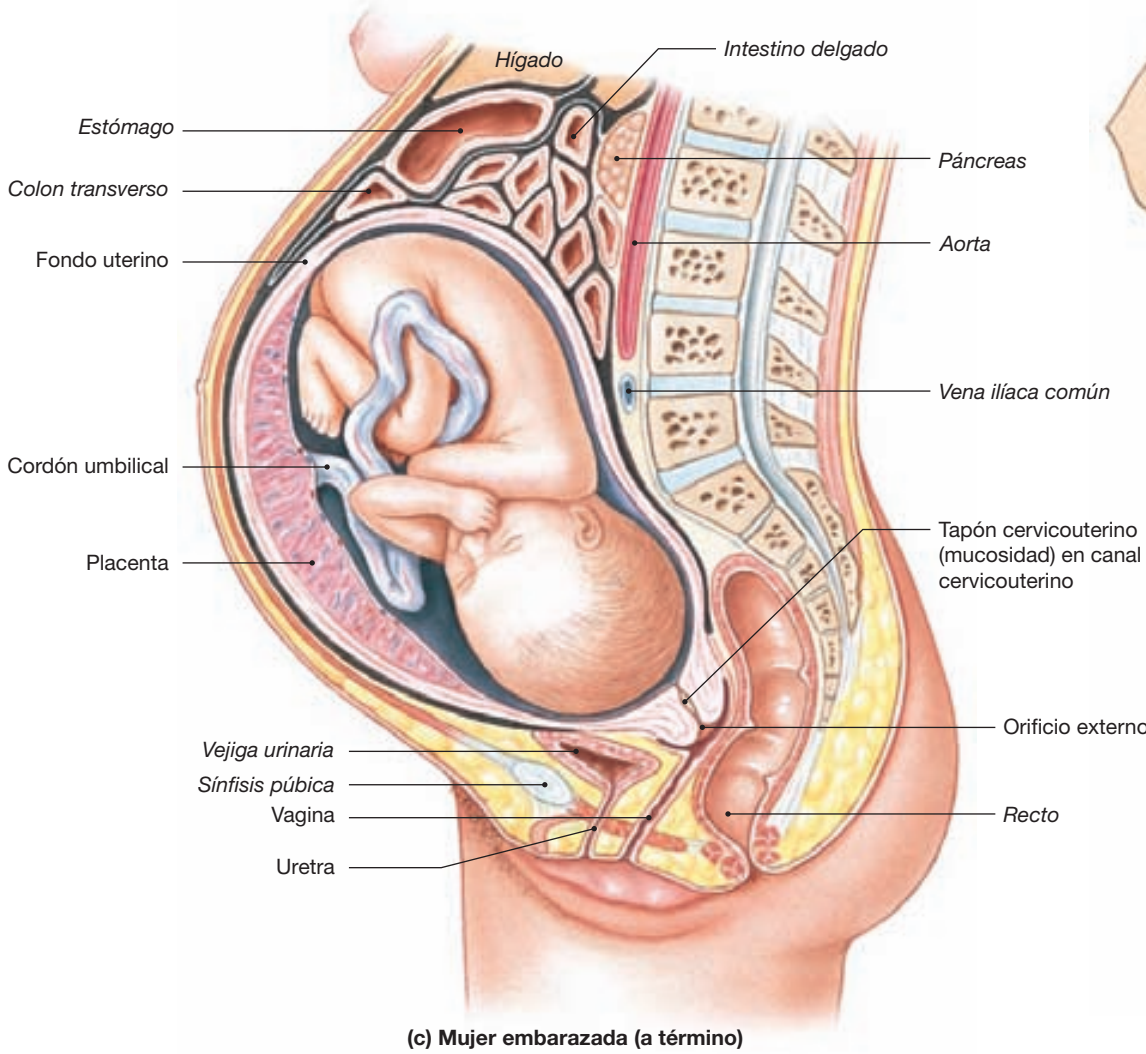
En aquellos casos en los que el tamaño del canal vaginal sea excesivamente pequeño para permitir el paso del feto y exista un riesgo agudo de desgarro perineal, se puede agrandar de forma temporal este conducto mediante una



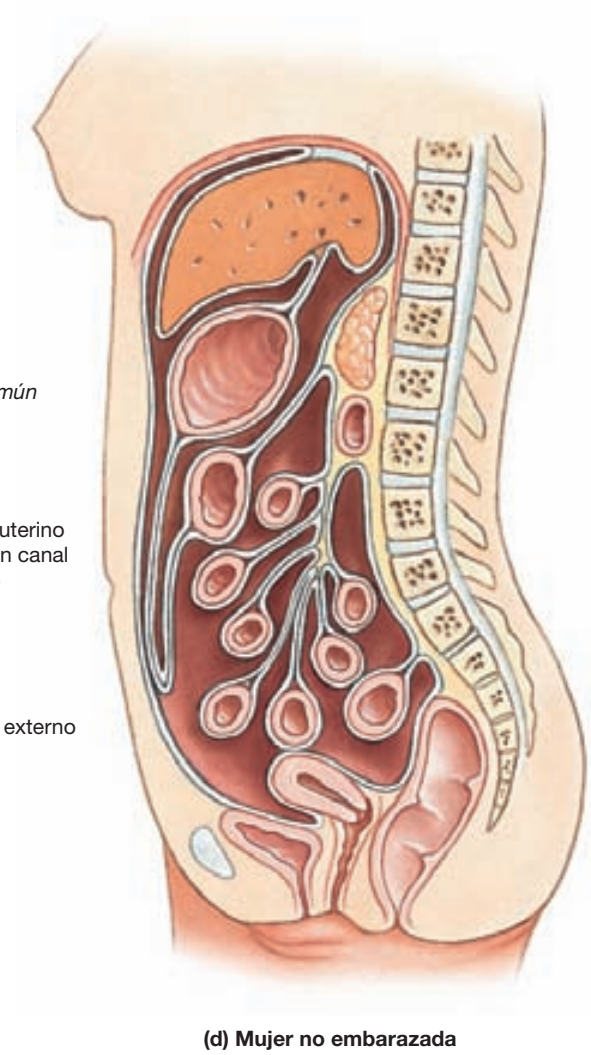
(a) Embarazo a los 4 meses



(b) Embarazo entre el tercer y el noveno mes



(c) Mujer embarazada (a término)



(d) Mujer no embarazada

Figura 28.9 Desarrollo del útero y el feto

(a) Imagen del embarazo a los 4 meses (16 semanas) en la que se representan las posiciones del útero, el feto y la placenta. **(b)** Cambios del tamaño del útero durante el segundo y el tercer trimestres. **(c)** Embarazo a término. Obsérvese la posición del útero y el feto, así como el desplazamiento de los órganos abdominales con relación a la imagen (d). **(d)** Posición y orientación de los órganos en una mujer no embarazada.

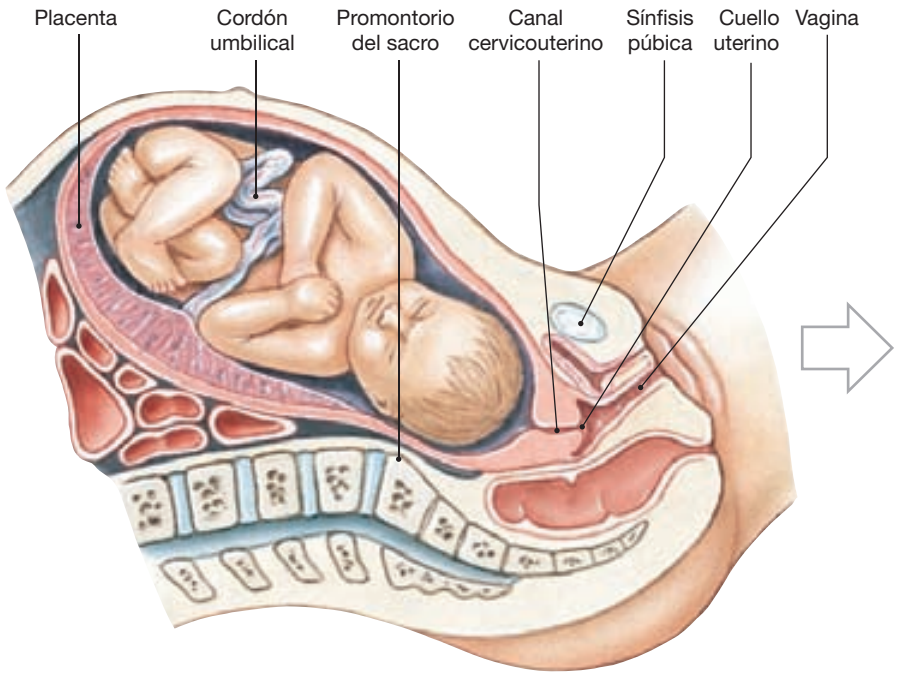


Figura 28.10 **Etapas del parto**

incisión en la musculatura perineal. Después del alumbramiento, esta **episiotomía** se puede reparar con puntos de sutura, lo que resulta más sencillo que tratar la hemorragia y los daños tisulares asociados a un desgarro perineal más o menos extenso.

La facilidad y el éxito del alumbramiento dependen de los tamaños relativos de la cabeza fetal y el orificio pélvico materno. Se puede extraer al neonato por medio de una **cesárea** cuando la progresión sea lenta o aparezcan complicaciones durante las fases de dilatación o expulsión. En estos casos, se efectúa una incisión en la pared abdominal y se crea un orificio en la pared uterina de tamaño suficiente para permitir el paso de la cabeza del feto. Esta intervención se lleva a cabo en el 15% al 25% de los partos en EE. U., aunque en la actualidad se está tratando de reducir las frecuencias de la episiotomía y la cesárea.

Fase de expulsión de la placenta [v. figura 28.10c]

Durante la **fase de expulsión de la placenta** del parto (v. figura 28.10c), se acumula tensión muscular en las paredes del útero medio vacío de modo que su tamaño disminuye de forma paulatina. La contracción uterina rompe las conexiones existentes entre el endometrio y la placenta. Aproximadamente 1 hora después del alumbramiento, esta etapa concluye con la expulsión de la placenta, o *secundinas,* lo que se acompaña de sangrado de hasta 500 a 600 mL, aunque apenas carece de relevancia debido al aumento de la volemia materna que acompaña a la gestación.

Parto prematuro

El **parto prematuro** se produce cuando el parto verdadero comienza antes de que haya concluido el desarrollo fetal normal. La probabilidad de supervivencia del neonato presenta una relación directa con su peso al nacer. Los lactantes de peso inferior a 400 g no logran sobrevivir, aunque se despliegue un enorme abanico de medidas de soporte, ya que los aparatos respiratorio, cardiovascular y urinario son incapaces de mantener la vida sin la colaboración de los sistemas orgánicos maternos. Por ello, la frontera entre un aborto espontáneo y un **parto inmaduro** se establece en un peso de 500 g, el peso normal al final del segundo trimestre.

La probabilidad de supervivencia de los lactantes que nacen antes del séptimo mes de gestación (peso inferior a 1 kg) no alcanza el 50%, y muchos de

Nota clínica

Parto con fórceps y parto de nalgas En casi todos los embarazos, el feto ha rotado en el interior del útero de modo que su cabeza atraviesa el canal del parto en primer lugar y se orienta hacia el sacro de la madre. Sin embargo, el feto se orienta hacia el pubis de la madre en aproximadamente el 6% de los partos. Cuando se dispone del tiempo suficiente, estos lactantes pueden nacer tras un período expulsivo normal, aunque la *utilización de fórceps* reduce los riesgos que supone tanto para el neonato como para la madre. Los fórceps se parecen a unas pinzas de ensalada largas y curvadas que pueden separarse para introducirlas secuencialmente en el canal vaginal. Después de ser insertadas, se unen de nuevo y se utilizan para asir la cabeza del feto. Se aplica una presión intermitente, de modo que remede a la de un parto normal.

En el 3% al 4% de los partos, las piernas o las nalgas del feto son las primeras en pasar al conducto vaginal, lo que recibe el nombre de parto de nalgas. Los riesgos que entrañan este tipo de parto para el lactante son ligeramente mayores, ya que el cordón umbilical podría estrecharse hasta interrumpir la circulación placentaria. El cuello uterino podría dilatarse para dejar pasar las piernas y el cuerpo, pero no la cabeza, la cual suele ser la parte más ancha del feto. La obstrucción de la cabeza podría comprimir el cordón umbilical, de modo que el parto se prolongaría y el feto podría presentar malestar acusado y sufrir posibles daños. Por lo general se opta por una cesárea cuando resulta imposible colocar manualmente al feto en una posición correcta.

los que logran sobrevivir presentarán anomalías graves del desarrollo. El **parto prematuro** genera un neonato de más de 1 kg de peso cuya probabilidad de supervivencia puede ir de aceptable a excelente en función de la situación de cada caso.

Período neonatal

El desarrollo no se detiene tras el parto, ya que el neonato tan sólo posee algunos de los rasgos anatómicos, funcionales o fisiológicos del ser humano adulto maduro. El **período neonatal** comprende desde el momento del nacimiento hasta el final del primer mes. La adquisición por parte del feto del estatus de lactante recién nacido, o **neonato,** implica diversas alteraciones fisiológicas y anatómicas. Con anterioridad al nacimiento, la transferencia de gases disueltos, nutrientes, residuos, hormonas e inmunoglobulinas tenía lugar en la superficie placentaria, mientras que a partir de ese momento el neonato debe convertirse en un ser relativamente autosuficiente y desarrollar los procesos de la respiración, la digestión y la excreción con sus propios órganos y sistemas orgánicos especializados. Se puede resumir la transición del feto al neonato de este modo:

1. Al nacer, los pulmones están colapsados y rellenos de líquido; para rellenarlos de aire es precisa una inhalación amplia y potente.
2. La expansión pulmonar altera el patrón de circulación cardiovascular como consecuencia de la modificación de la presión arterial y las velocidades de flujo. Se cierra el conducto arterioso, lo que separa los troncos pulmonar y sistémico, y el cierre del agujero oval aísla las aurículas del corazón, con lo que se produce la separación de los circuitos pulmonar y sistémico. Estos cambios cardiovasculares se describen en los capítulos 21 y 22.
3. La frecuencia cardíaca normal en el neonato es de 120 a 140 latidos/minuto y la frecuencia respiratoria normal es de 30 respiraciones/minuto, unas cifras mucho mayores que en el adulto.
4. Antes del nacimiento, el aparato digestivo apenas muestra actividad, si bien acumula una mezcla de secreciones biliares, mucosidad y células epiteliales. Estos residuos se excretan a lo largo de los primeros días de vida, durante los cuales comienza a mamar el neonato.
5. Los productos de desecho se acumulan en la sangre arterial y se filtran en los riñones para producir orina. Aunque el proceso de filtrado glomerular es normal, la orina no se concentra, de modo que el neonato pierde mucho agua y requiere un volumen de líquidos mucho mayor que el ser humano adulto.
6. El neonato apenas puede controlar su temperatura corporal, en especial en los días siguientes al parto. El metabolismo del neonato aumenta a medida que lo hace su tamaño y se incrementa el grosor de la «capa» de tejido adiposo subcutáneo aislante. El cambio diario e, incluso, de una hora a otra de la temperatura corporal se mantiene durante toda la lactancia.

Nota clínica

Evaluación del neonato Los neonatos se someten a una evaluación minuciosa después del alumbramiento. Se investiga la presencia de anomalías anatómicas y fisiológicas. De igual modo, se obtiene información basal que resulta de utilidad para valorar el desarrollo posnatal. Además del aspecto general, se determinan el pulso, la frecuencia respiratoria, el peso, la altura y otros rasgos físicos. Por otra parte, se realizan pruebas de detección de diversos trastornos genéticos y metabólicos, como la *fenilcetonuria (FCU)* o el *hipotiroidismo* congénito.

El **método de Apgar** evalúa la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, el tono muscular, la respuesta a la estimulación y el color tras 1 minuto y 5 minutos del alumbramiento. Se otorga una puntuación al neonato en cada categoría que comprende desde 0 (mala) a 2 (excelente) y se suman las puntuaciones de todos los apartados. Se ha comprobado que la puntuación de Apgar de un neonato (0 a 10) es un factor pronóstico preciso de su supervivencia y la presencia de lesiones neurológicas. Por ejemplo, los neonatos afectados por parálisis cerebral suelen obtener una puntuación de Apgar baja.

VERIFICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué cambios embrionarios se observan a lo largo del segundo trimestre?
2. ¿Qué fase del parto suele tener una mayor duración?
3. ¿Por qué necesita el recién nacido una ingesta de líquidos mucho mayor que un adulto?
4. ¿Qué proceso induce la expulsión de la placenta?

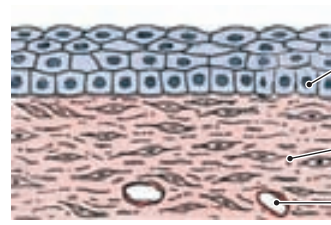
Véase «Respuestas» al final del libro.

En el siguiente apartado de este capítulo se resumen algunos aspectos destacados del desarrollo embrionario de cada uno de los sistemas orgánicos. En la tabla 28.2 de las pp. 758-759 se resumen los principales hitos del desarrollo que suceden en cada trimestre.

Desarrollo del sistema tegumentario

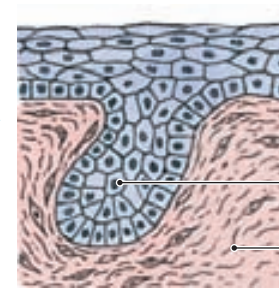
1 MES

Al comienzo del segundo mes, el ectodermo es una monocapa de epitelio que recubre un mesénquima poco organizado.



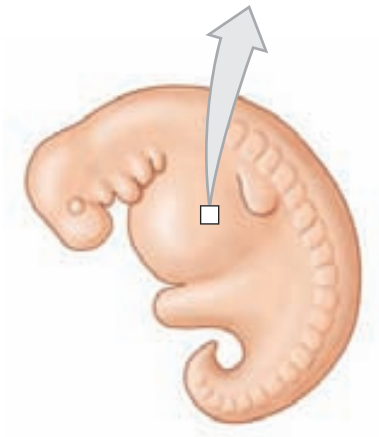
3 MESES

A lo largo de las semanas siguientes, el epitelio se estratifica mediante divisiones repetidas de las células *basales* o *germinativas*. El mesénquima subyacente se diferencia para dar lugar al tejido conjuntivo embrionario que albergará a los vasos sanguíneos que irrigarán esta área.

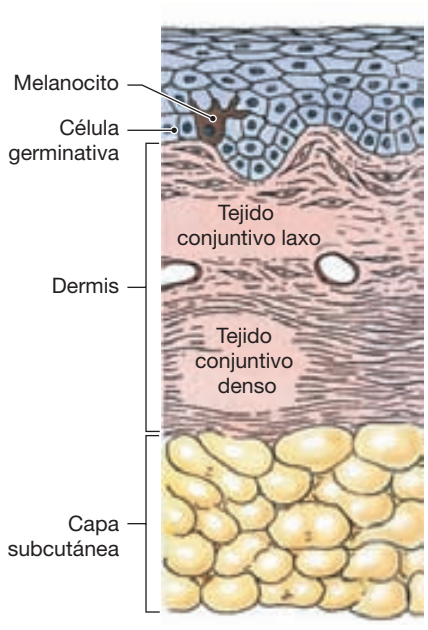


4 MESES

Durante los meses tercero y cuarto, algunas zonas pequeñas de la epidermis sufren numerosas divisiones para dar lugar a cordones celulares que se proyectan hacia la dermis y reciben el nombre de **columnas epiteliales.** Las células mesenquimatosas rodean a estas columnas conforme ocupan posiciones cada vez más profundas en la dermis. Estas columnas darán lugar a los folículos pilosos, las glándulas sebáceas y las glándulas sudoríparas.



PIEL

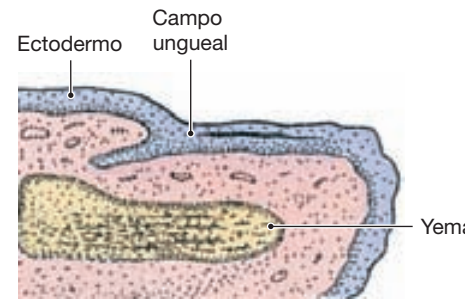


4 MESES

La capa epitelial se engrosa y la lámina basal se pliega de forma irregular a medida que las células basales se dividen. Unas células pigmentadas conocidas como *melanocitos* migran hacia esta área y se abren camino entre las células germinativas. En este momento, el epitelio remeda la *epidermis* del ser humano adulto.

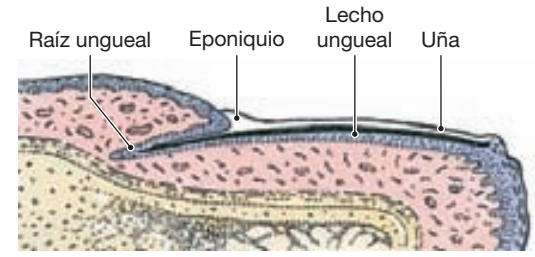
El tejido conjuntivo embrionario se diferencia en la *dermis*. Los fibroblastos y otros tipos celulares de este tejido se forman a partir de células mesenquimatosas o bien migran a esta capa desde otras zonas. Se incrementa el número de fibras. El tejido conjuntivo laxo se extiende hacia los rebordes, y un entramado de fibras irregulares de colágeno predomina en la región más profunda y menos vascularizada. Por debajo de la dermis, el tejido conjuntivo embrionario genera la *capa subcutánea,* que se compone de tejido conjuntivo laxo.

UÑAS



4 MESES

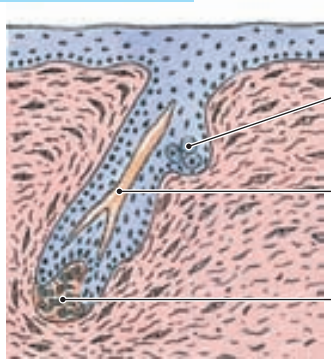
Las uñas se desarrollan por engrosamiento de la epidermis cercana a las yemas de los dedos y los pies. Estos engrosamientos se asientan en la dermis y se define el límite con la epidermis general.



NACIMIENTO

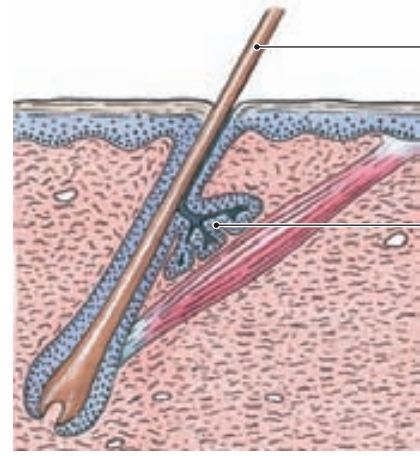
En el momento del nacimiento, el crecimiento ungueal se concentra en la *raíz ungueal*.

FOLÍCULOS PILOSOS



5 MESES

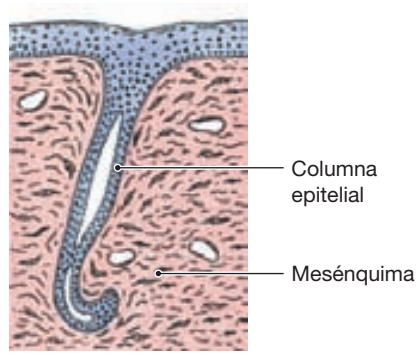
Cuando una columna profunda rodea a una *papila,* una pequeña masa de tejido conjuntivo, se forma un folículo piloso. El crecimiento del pelo se produce en el epitelio que recubre a la papila. La columna epitelial se evagina para crear una *glándula sebácea.*



NACIMIENTO

En el nacimiento, el pelo sale del folículo y las secreciones de la glándula sebácea lubrican el tallo del pelo.

GLÁNDULAS EXOCRINAS



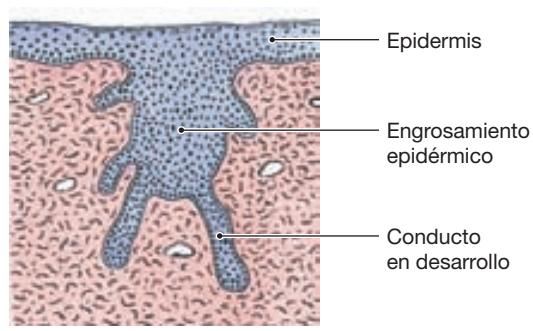
5 MESES

La glándula sudorípara se forma cuando una columna epitelial se alarga, enrosca y ahueca.

NACIMIENTO

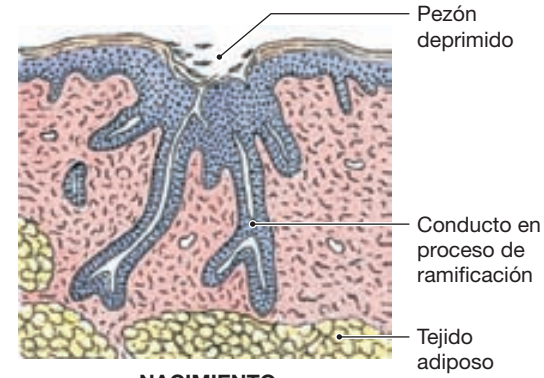
En el nacimiento, los conductos de las glándulas sudoríparas transportan las secreciones sintetizadas por sus células hacia la superficie cutánea.

GLÁNDULAS MAMARIAS



5 MESES

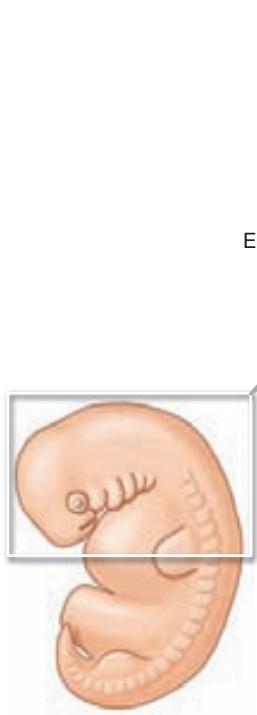
El proceso de formación de las glándulas mamarias es similar al anterior, si bien los engrosamientos epidérmicos son más extensos y se produce una notable ramificación.

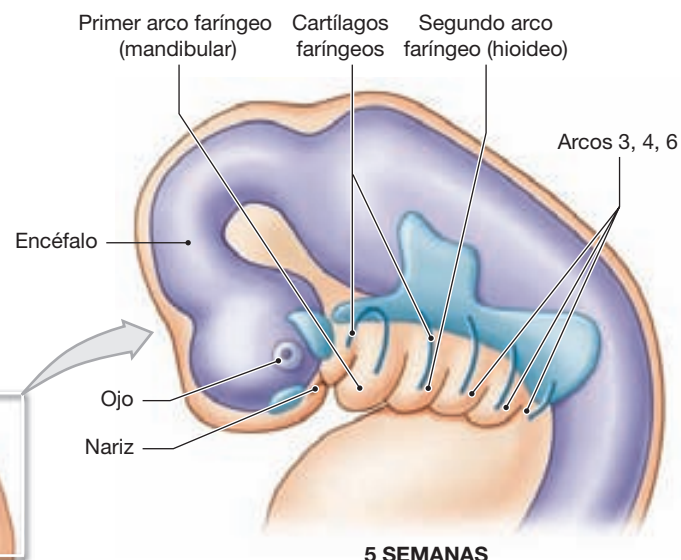


NACIMIENTO

El desarrollo de las glándulas mamarias no ha concluido aún en el momento del nacimiento. En la mujer, el sistema glandular y de conductos sufre nuevos cambios en la pubertad, aunque no adquiere una madurez funcional hasta una fase avanzada de la gestación.

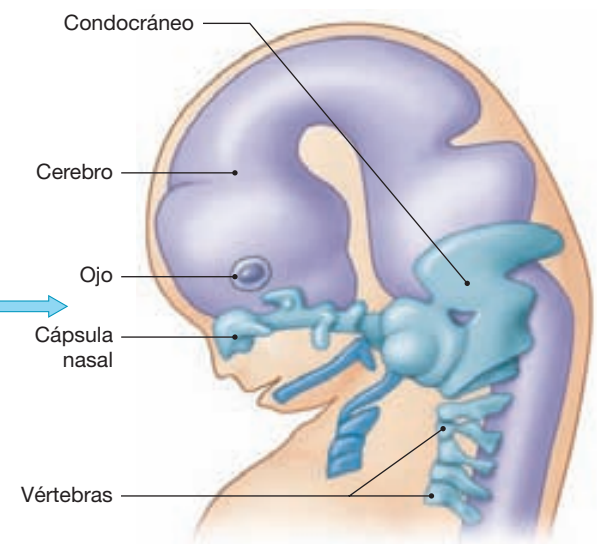
Desarrollo del cráneo





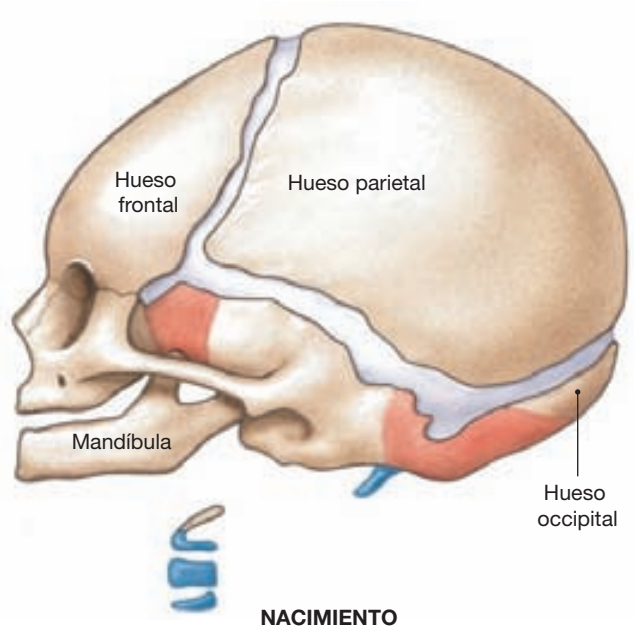
5 SEMANAS

Tras 5 semanas de desarrollo, el sistema nervioso central es un cilindro hueco que recorre el organismo. En el mesénquima de la cabeza aparecen varios cartílagos por debajo y junto al cerebro en crecimiento y alrededor de la nariz, los ojos y los oídos en desarrollo. Estos cartílagos se representan en color azul celeste. Se forman otros cinco pares de cartílagos en las paredes de la faringe. Estos cartílagos, en color azul oscuro, se localizan en el interior de los **arcos faríngeos** o **branquiales.** (*Branquial* se refiere a las branquias o agallas, ya que en los peces los arcos caudales dan lugar a estructuras esqueléticas que sustentan las agallas.) El arco más extenso es el primer arco o **arco mandibular.**



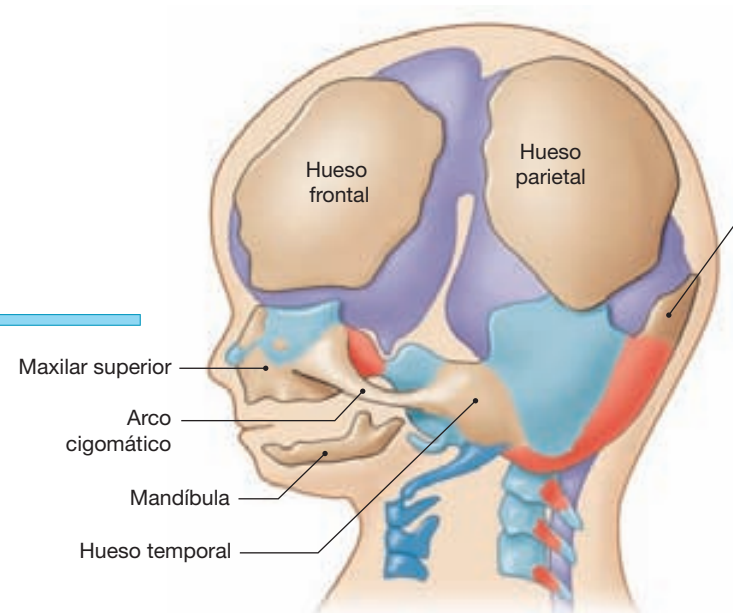
8 SEMANAS

Los cartílagos asociados al cerebro crecen y se fusionan para dar lugar a un **condocráneo** cartilaginoso (*chondros,* cartílago + *cranium,* cráneo), que albergan el cerebro y los órganos sensitivos. A las 8 semanas, sus paredes y piso están incompletos, y no tiene su techo.



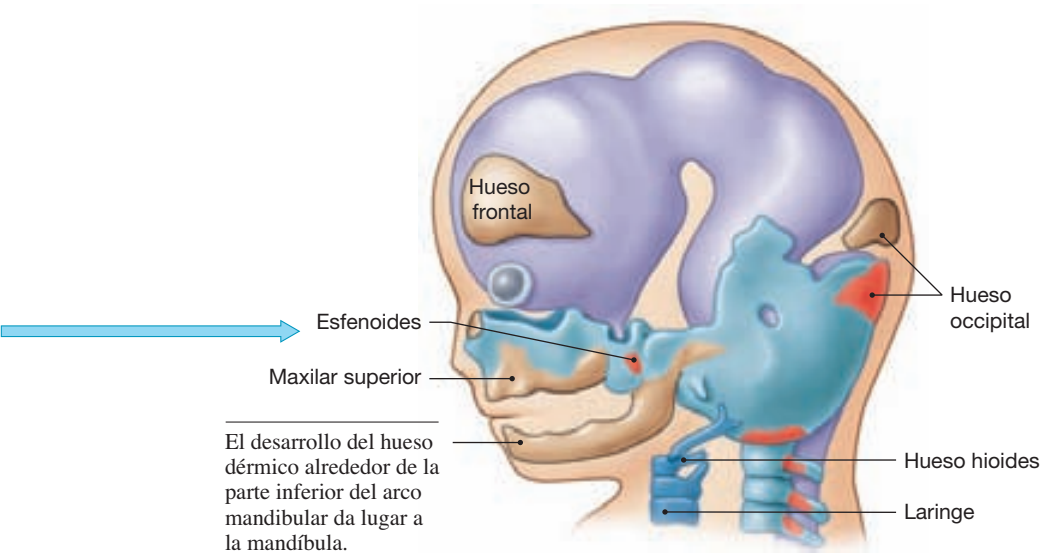
NACIMIENTO

Estructura del cráneo del neonato; compárela con la estructura en la semana 12 de vida. A pesar de que los huesos han sufrido fusiones extensas, el desarrollo del techo craneal no ha concluido aún. (Para más detalles, *véase la figura 6.18, p. 159.*)



12 SEMANAS

Tras 12 semanas, la osificación ha avanzado tanto en el cráneo como en la cara. *Compare esta imagen con la figura 5.6 de la p. 119.*

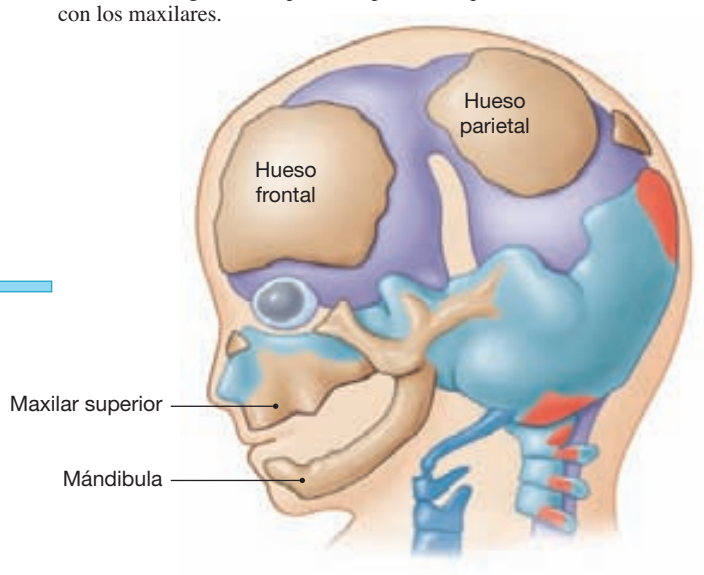


El desarrollo del hueso dérmico alrededor de la parte inferior del arco mandibular da lugar a la mandíbula.

9 SEMANAS

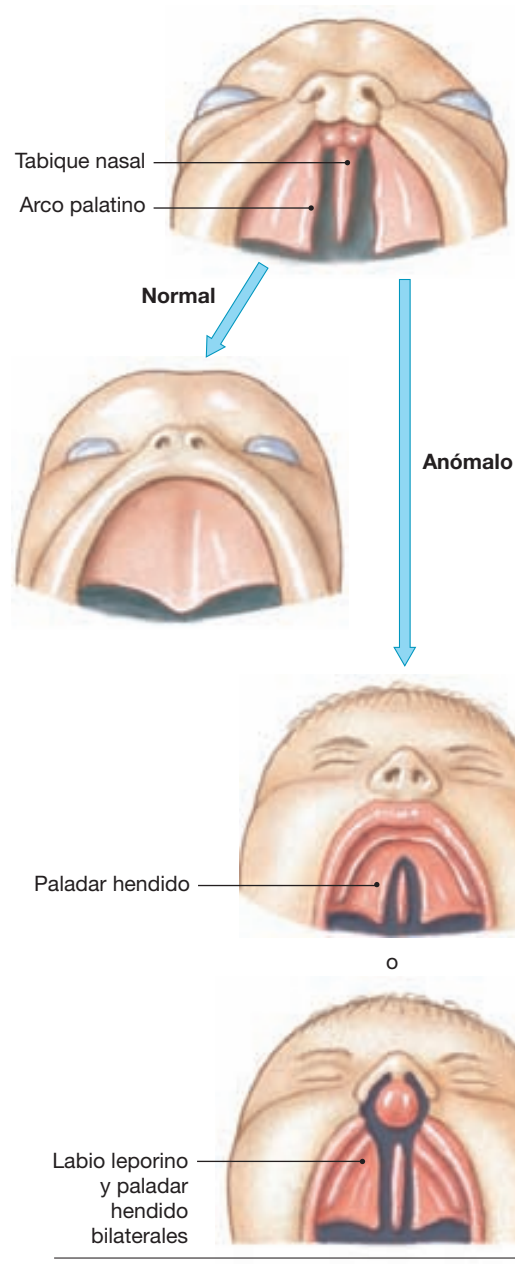
A lo largo de la novena semana, en el condocráneo aparece un gran número de focos de osificación endocraneal, que se representan en color rojo. La osificación intramembranosa de la dermis suprayacente conduce al desarrollo paulatino de los huesos frontal y parietal del techo craneal. Se producen fusiones amplias conforme crecen y se expanden estos centros (color beige).

La porción dorsal del arco mandibular se fusiona con el condocráneo. Los cartílagos fusionados no sufren el proceso de osificación, sino que los osteoblastos los envuelven en hueso dérmico. Cada uno de los lados de esta envoltura se fusiona con un hueso que comienza a formarse en la entrada de la cavidad nasal para dar lugar a ambos maxilares. La extensión de los centros de osificación del techo de la cavidad bucal genera los procesos palatinos, que más tarde se fusionarán con los maxilares.



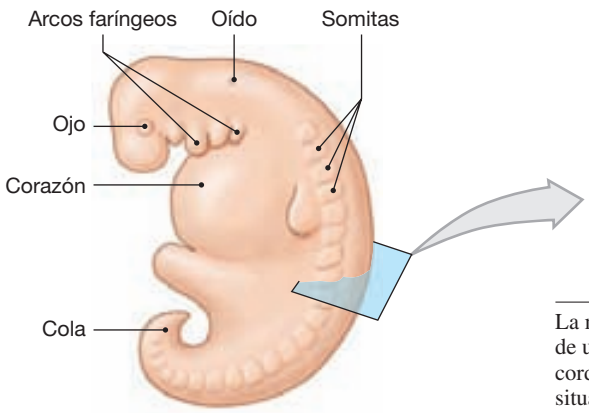
10 SEMANAS

El segundo arco, o **arco hioideo,** se desarrolla en las inmediaciones de los huesos temporales. La fusión de los vértices superiores del hioides con los temporales crea las apófisis estiloides. El tercer arco se fusiona con el hioides, mientras que el cuarto y el sexto dan lugar a los cartílagos laríngeos.

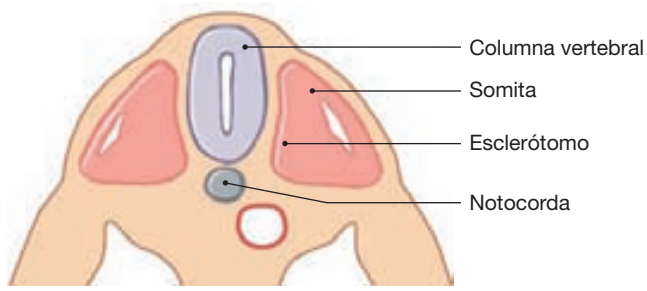


Cuando la fusión de la piel supraadyacente no tiene lugar del modo normal, se forma un **labio leporino.** Esta anomalía aparece aproximadamente en uno de cada 1.000 partos. La extensión de la hendidura hacia la órbita y el paladar recibe el nombre de **paladar hendido.** La prevalencia del paladar hendido es un 50% menor que la del labio leporino. Ambos trastornos son susceptibles de reparación quirúrgica.

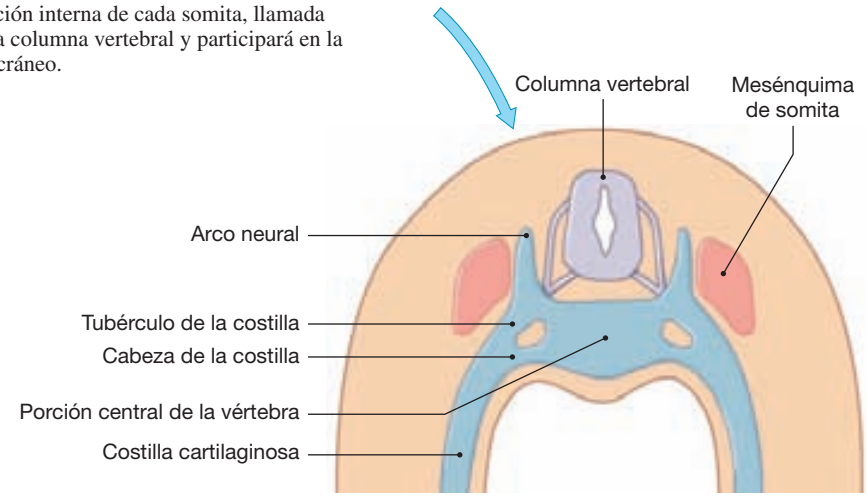
Desarrollo de la columna vertebral



EMBRIÓN DE 4 SEMANAS

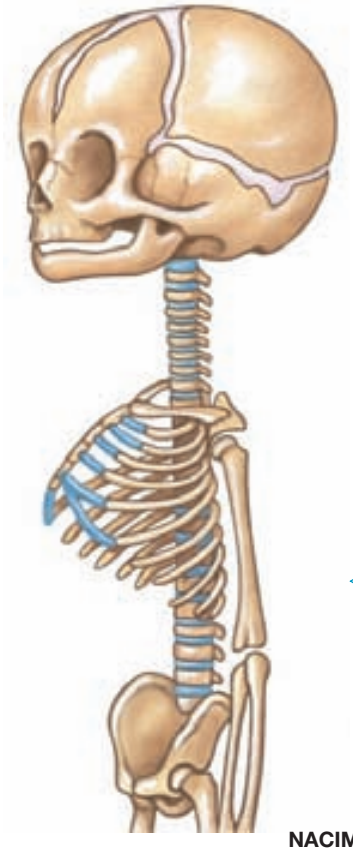


La médula espinal en desarrollo se encuentra en la parte posterior de un rodillo longitudinal, la **notocorda** (*noton,* trasero + *cord,* cordón). Durante la cuarta semana de desarrollo, el mesodermo situado a ambos lados de la columna vertebral y la notocorda produce una serie de bloques mesenquimatosos llamados **somitas.** El mesénquima de la porción interna de cada somita, llamada **esclerótomo,** producirá la columna vertebral y participará en la formación de la base del cráneo.



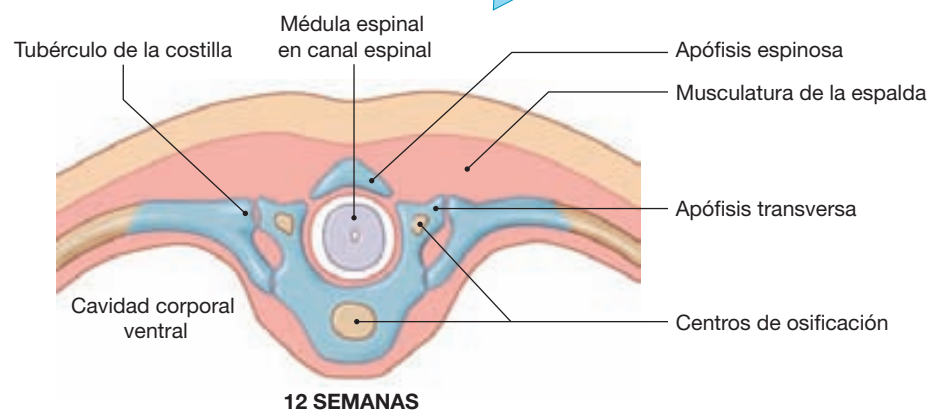
8 SEMANAS

Los cartílagos de los centros vertebrales crecen alrededor de la columna vertebral y crean un modelo de la vértebra completa. En las regiones cervical, torácica y lumbar aparecen articulaciones en las zonas de contacto de bloques cartilaginosos adyacentes. Por el contrario, los cartílagos se fusionan en el sacro y el cóccix.



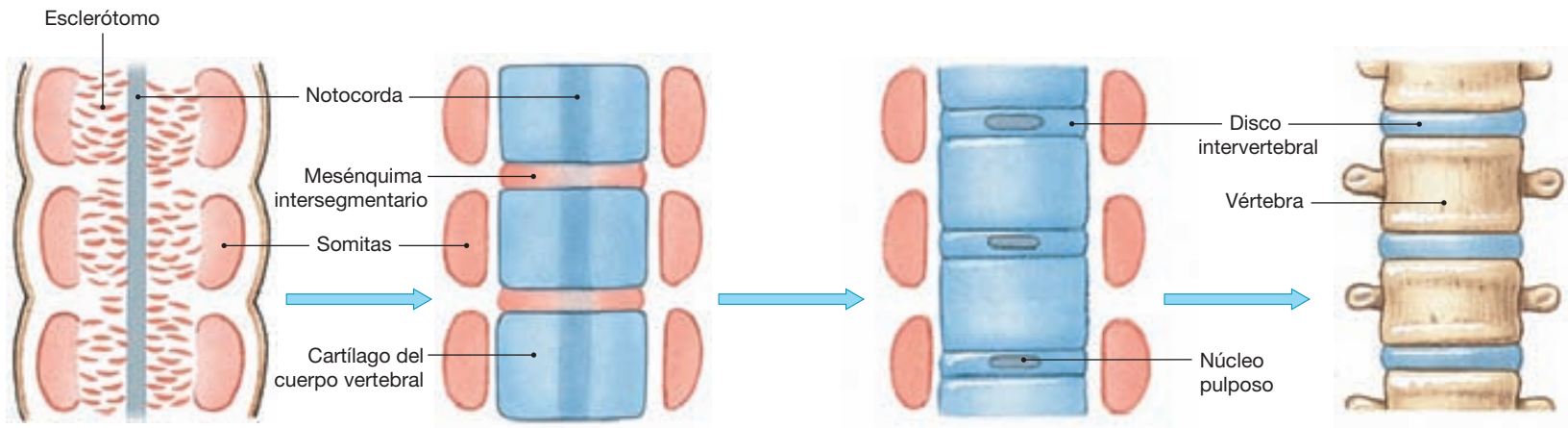
NACIMIENTO

En el neonato, las vértebras y las costillas se encuentran osificadas, aunque continúan existiendo numerosas estructuras cartilaginosas, como las porciones anteriores de las costillas. La columna continuará creciendo a lo largo de los años venideros; en las vértebras, las bases de los arcos neurales crecerán hasta los 3 a 6 años, y las apófisis espinosas y los cuerpos vertebrales lo harán hasta los 18 a 25 años.



12 SEMANAS

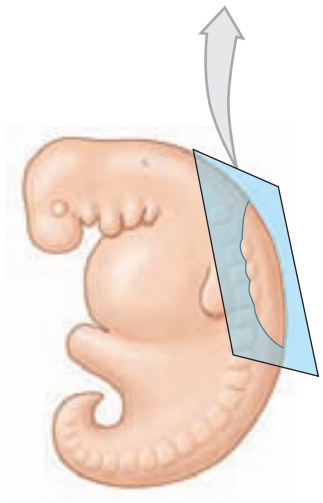
La osificación comienza aproximadamente cuando las costillas se separan de las vértebras. Sólo las costillas más cortas sufren una osificación completa. En el resto, las porciones distales siguen siendo cartilaginosas y forman cartílagos costales. En el esternón aparecen muchos centros de osificación, pero la fusión reduce su número gradualmente.

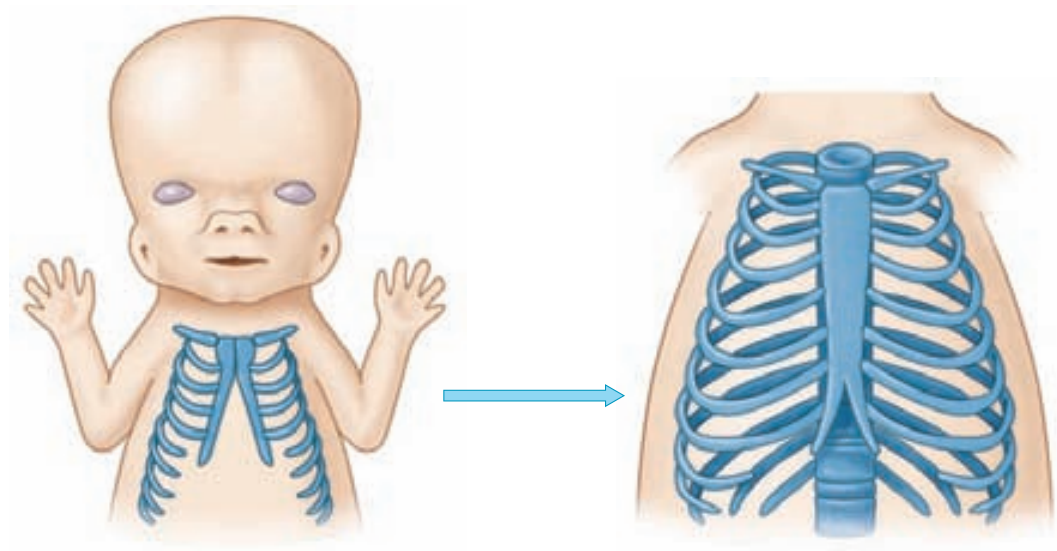


Las células de los segmentos de esclerotómo migran desde los somitas y se agrupan alrededor de la notocorda.

Las células migratorias se diferencian en condroblastos y dan lugar a una serie de bloques cartilaginosos alrededor de la notocorda. Estos cartílagos, que se transformarán en los centros vertebrales, se separan mediante placas de mesénquima.

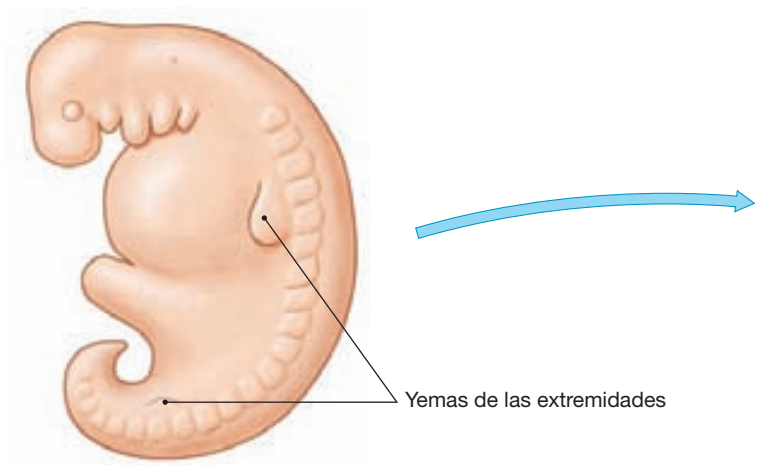
La expansión de los centros vertebrales termina por provocar la desaparición de la notocorda, la cual se mantiene entre vértebras adyacentes y conforma el *núcleo pulposo* de los discos intervertebrales. En una fase ulterior, las células mesenquimatosas se transformarán en condroblastos y crearán el cartílago fibroso del *anillo fibroso.*





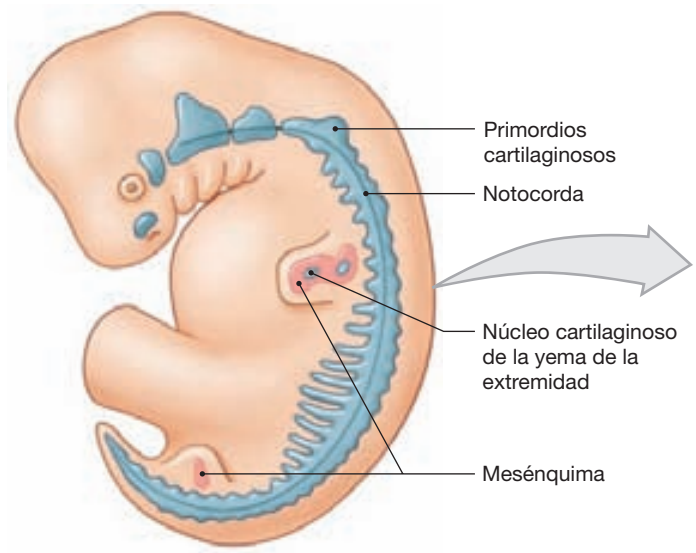
Los cartílagos de las costillas se expanden desde las apófisis transversas de las vértebras en desarrollo. En un primer momento se mantienen unidas a estas, pero hacia la octava semana se han separado de ellas. Se forman costillas en cada vértebra, si bien en las regiones cervical, lumbar, sacra y coccígea serán pequeñas y se fusionarán posteriormente a las vértebras en desarrollo. Las costillas de las vértebras torácicas continúan creciendo, adoptando la curvatura de la pared corporal, y se fusionarán con los cartílagos del esternón al alcanzar la línea media ventral.

Desarrollo del esqueleto de las extremidades



4 SEMANAS

A lo largo de la cuarta semana de desarrollo, se forman unos rebordes a lo largo del flanco del embrión que se extienden desde inmediatamente detrás de la faringe hasta delante del ano. La aparición de estos rebordes obedece a una acumulación de células mesodérmicas por debajo del ectodermo del costado. El mesodermo se acumula de manera gradual en el extremo de cada reborde y forma dos pares de yemas de las extremidades.



5 SEMANAS

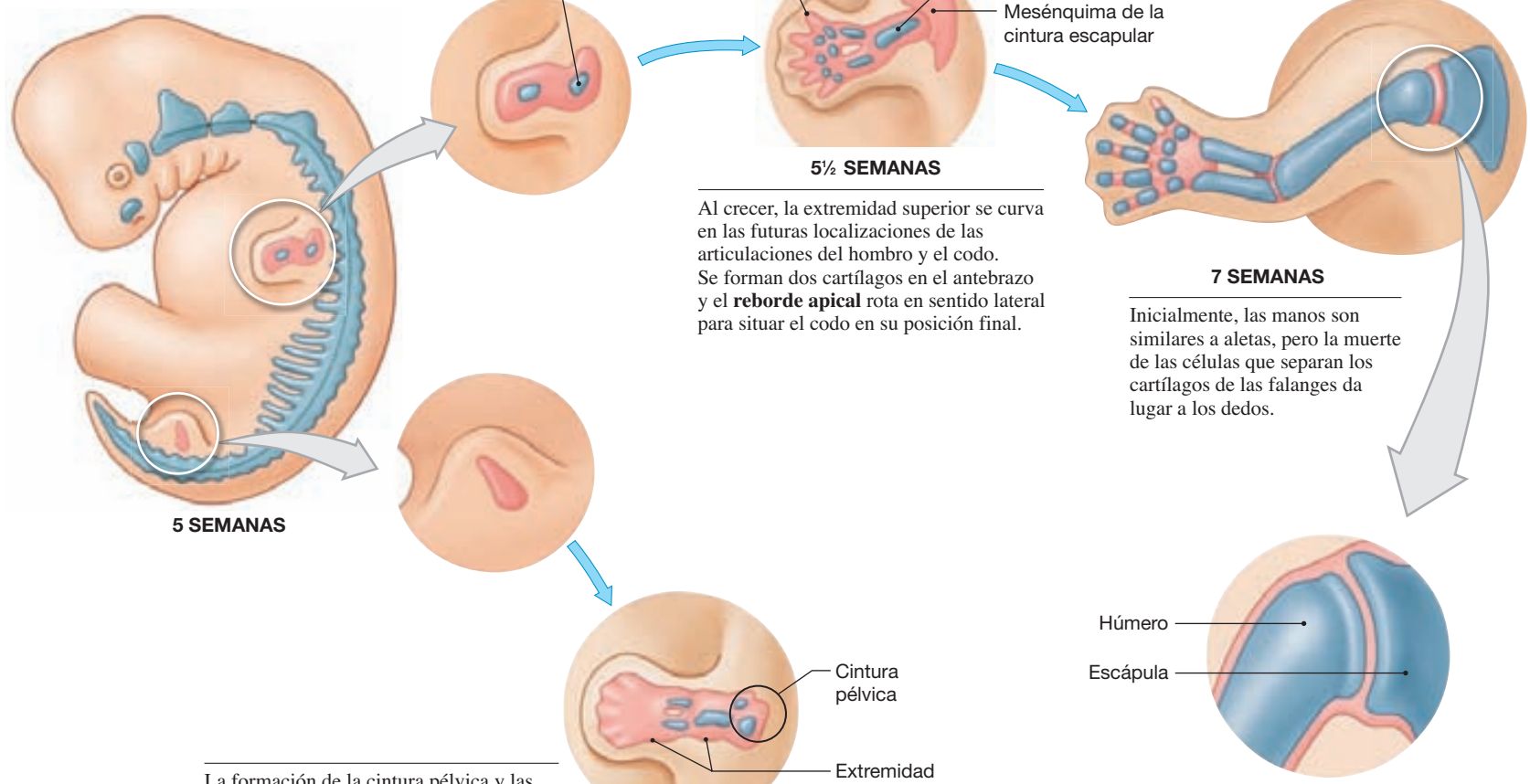
En la quinta semana de desarrollo, las yemas de las extremidades pectorales poseen un núcleo cartilaginoso y aparecen cartílagos escapulares en el mesénquima del tronco.

NACIMIENTO

Esqueleto de un neonato. Obsérvense las extensas áreas cartilaginosas (azul) en la cabeza humeral, la muñeca, entre los huesos de las palmas y los dedos de las manos, y las caderas. Compárese el aspecto del esqueleto de la cabeza y del tronco con los dos resúmenes de embriología anteriores.

10 SEMANAS

Osificación del esqueleto embrionario después de unas 10 semanas de desarrollo. Las diáfisis de los huesos de las extremidades sufren una rápida osificación, pero los huesos distales del carpo y el tarso se componen aún de cartílago.



Al crecer, la extremidad superior se curva en las futuras localizaciones de las articulaciones del hombro y el codo. Se forman dos cartílagos en el antebrazo y el **reborde apical** rota en sentido lateral para situar el codo en su posición final.

Inicialmente, las manos son similares a aletas, pero la muerte de las células que separan los cartílagos de las falanges da lugar a los dedos.

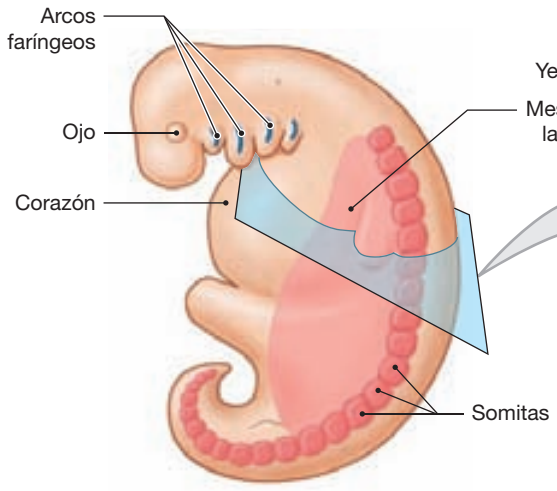
La formación de la cintura pélvica y las extremidades inferiores remeda en gran medida la del complejo pectoral. Sin embargo, el reborde apical gira en sentido interno en lugar de lateral conforme crece la yema de la extremidad pélvica, de modo que la articulación de la rodilla se orienta hacia la superficie posterior, mientras que la del codo lo hace hacia la anterior.

Hacia la semana 8, ya se han formado los modelos cartilaginosos de los principales componentes esqueléticos y comienza el proceso de osificación endocondral en los huesos de las futuras extremidades. La osificación de la articulación coxofemoral se inicia en tres focos diferentes que crecen gradualmente.

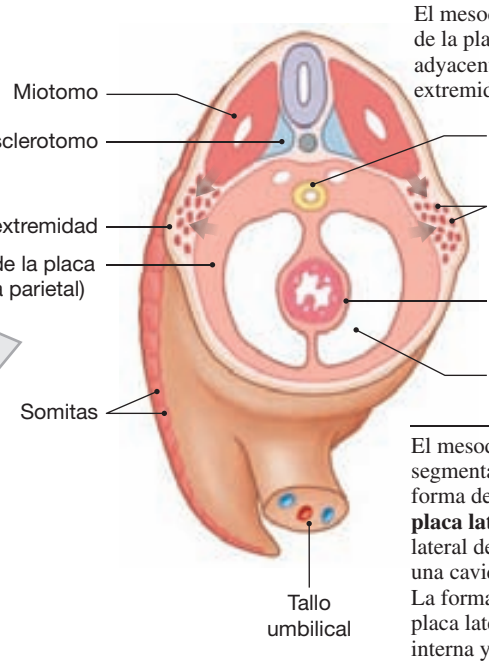
Las articulaciones se forman en las superficies de contacto de dos cartílagos. La superficie interior de la cavidad articular se compone de cartílago, mientras que el resto del hueso sufre un proceso de osificación.

Desarrollo de los músculos

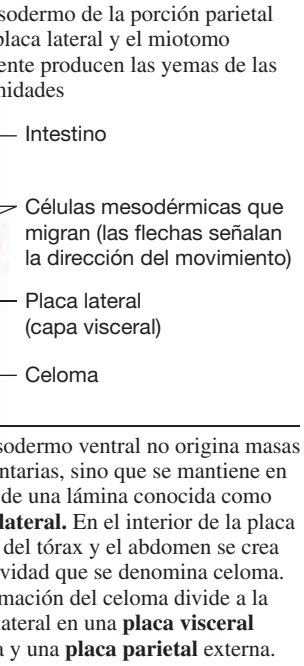
En el área adyacente a la cabeza, el mesodermo da lugar a músculo estriado asociado a los arcos faríngeos.



Tras 4 semanas de desarrollo, el mesodermo da lugar a somitas a cada lado de la notocorda. La porción medial de cada somita, llamada **miotoma,** formará músculos estriados.

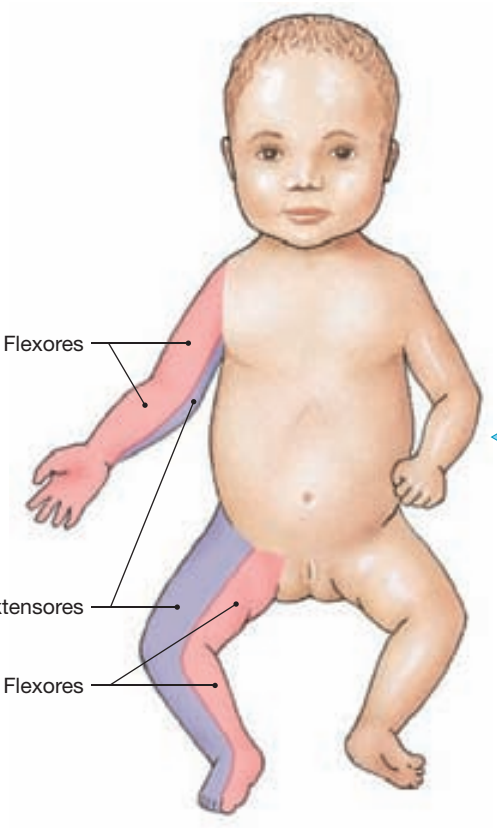


El mesodermo de la porción parietal de la placa lateral y el miotomo adyacente producen las yemas de las extremidades


Intestino
Células mesodérmicas que migran (las flechas señalan la dirección del movimiento)
Placa lateral (capa visceral)
Celoma

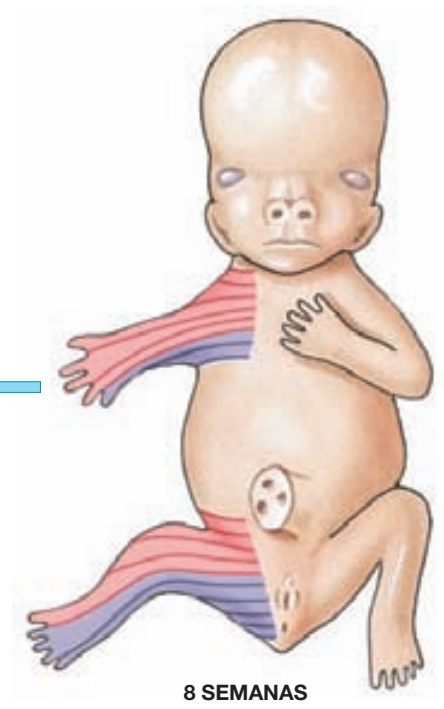
El mesodermo ventral no origina masas segmentarias, sino que se mantiene en forma de una lámina conocida como **placa lateral.** En el interior de la placa lateral del tórax y el abdomen se crea una cavidad que se denomina celoma. La formación del celoma divide a la placa lateral en una **placa visceral** interna y una **placa parietal** externa.

4 SEMANAS



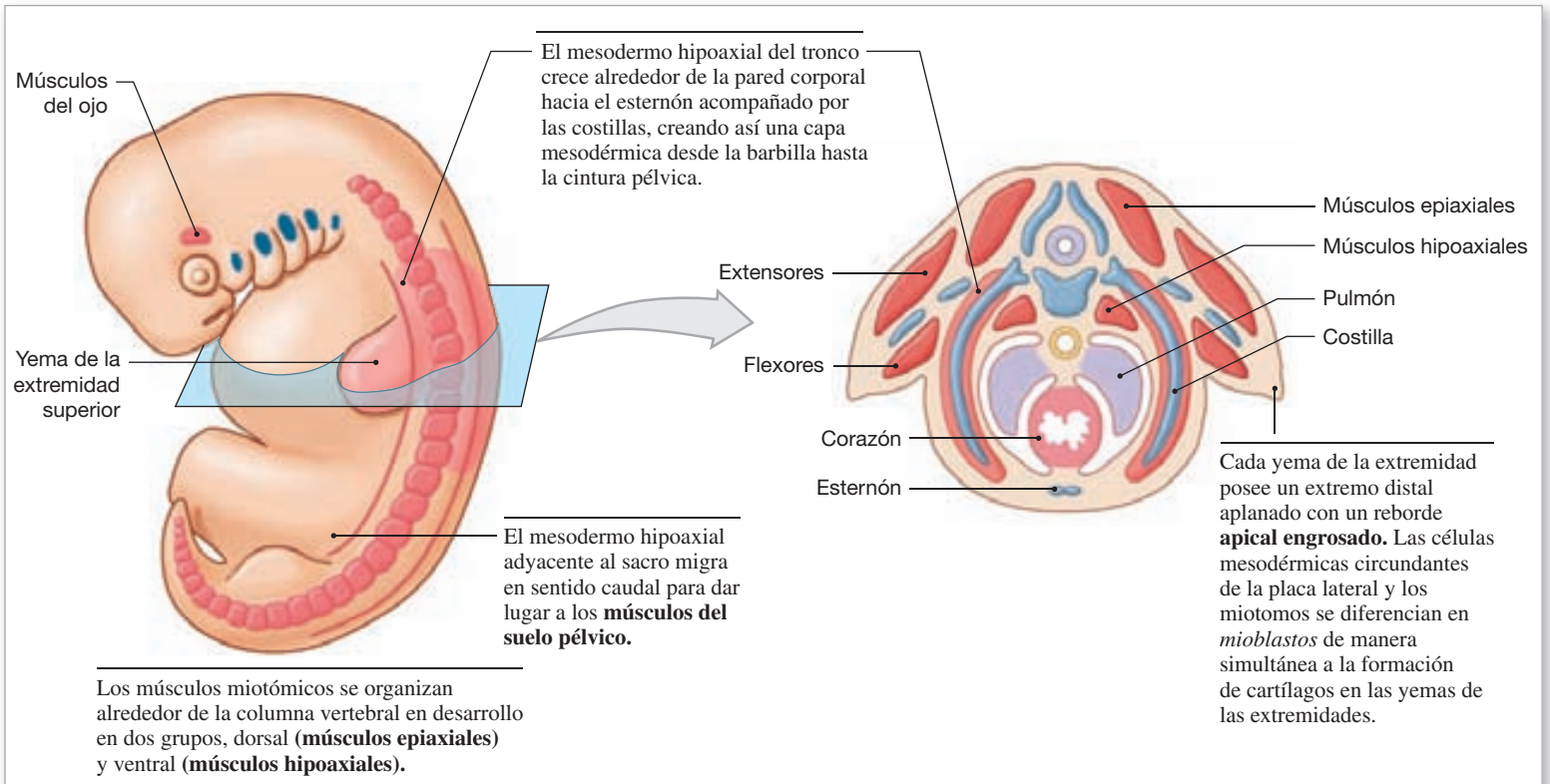
NACIMIENTO

La rotación de las yemas de las extremidades superiores e inferiores modifica la posición de estas masas con relación al eje corporal.

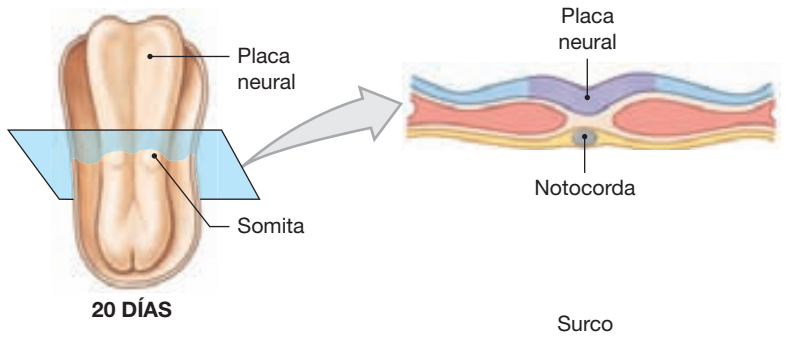


8 SEMANAS

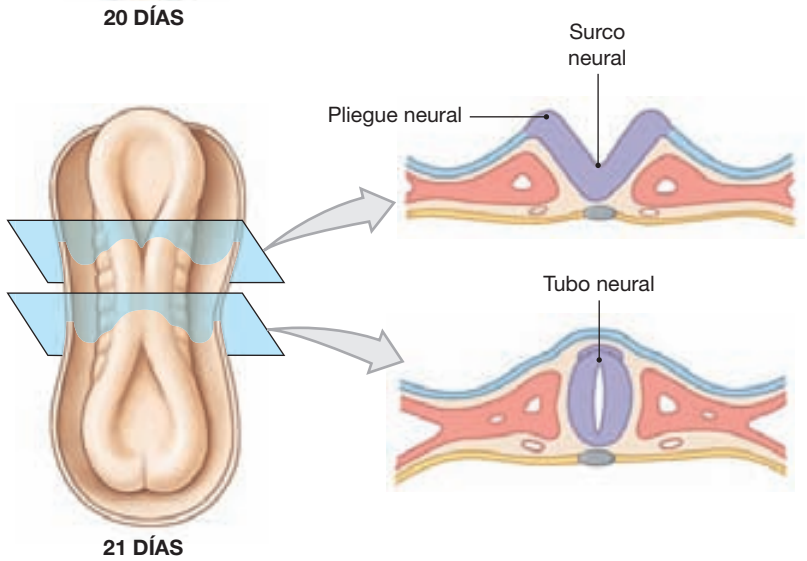
Conforme se desarrollan las yemas de las extremidades, son invadidas por nuevos mioblastos procedentes de los segmentos miotómicos cercanos. Las líneas señalan los límites entre los miotomos de los que migran células hacia la extremidad.


Músculos del ojo
El mesodermo hipoaxial del tronco crece alrededor de la pared corporal hacia el esternón acompañado por las costillas, creando así una capa mesodérmica desde la barbilla hasta la cintura pélvica.
Yema de la extremidad superior
El mesodermo hipoaxial adyacente al sacro migra en sentido caudal para dar lugar a los **músculos del suelo pélvico.**
Los músculos miotómicos se organizan alrededor de la columna vertebral en desarrollo en dos grupos, dorsal **(músculos epiaxiales)** y ventral **(músculos hipoaxiales).**
Extensores
Flexores
Corazón
Esternón
Músculos epiaxiales
Músculos hipoaxiales
Pulmón
Costilla
Cada yema de la extremidad posee un extremo distal aplanado con un reborde **apical engrosado.** Las células mesodérmicas circundantes de la placa lateral y los miotomos se diferencian en *mioblastos* de manera simultánea a la formación de cartílagos en las yemas de las extremidades.
6 SEMANAS
Los músculos que se desarrollan en los arcos faríngeos se vinculan con la cabeza y la región cervical. Los **músculos de la masticación** se forman a partir del mesodermo que rodea al *arco mandibular.*
El mesodermo del *arco hioideo* (segundo) migra a lo largo de las superficies lateral y ventral del cuello y las superficies del cráneo para generar los **músculos de la expresión facial.**
El mesodermo de los arcos faríngeos tercero, cuarto y sexto forma los músculos faríngeos y laríngeos intrínsecos.
Músculos del ojo
Los mioblastos faríngeos crean una capa superficial que más tarde se subdividirá para dar lugar al *trapecio* y el *esternocleidomastoideo.*
Los músculos epiaxiales se organizan todavía en segmentos. Entre estos músculos profundos cabe citar los **músculos intervertebrales.** Los músculos epiaxiales superficiales dan lugar a los principales músculos del **grupo** de músculos **erectores de la columna vertebral.**
Músculos intervertebrales
Músculos erectores de la columna vertebral
Extensores
Flexores
Al migrar sobre la superficie dorsal del tronco, los mioblastos dan lugar a los extensores de las extremidades, mientras que su migración sobre la superficie dorsal genera los flexores.
Cuadrado lumbar
Transverso del abdomen
Oblicuo interno
Oblicuo externo
Estómago
Recto del abdomen
Los grupos de músculos **oblicuo, transverso** y **recto** se localizan en la capa hipoaxial.
7 SEMANAS

Desarrollo del sistema nervioso

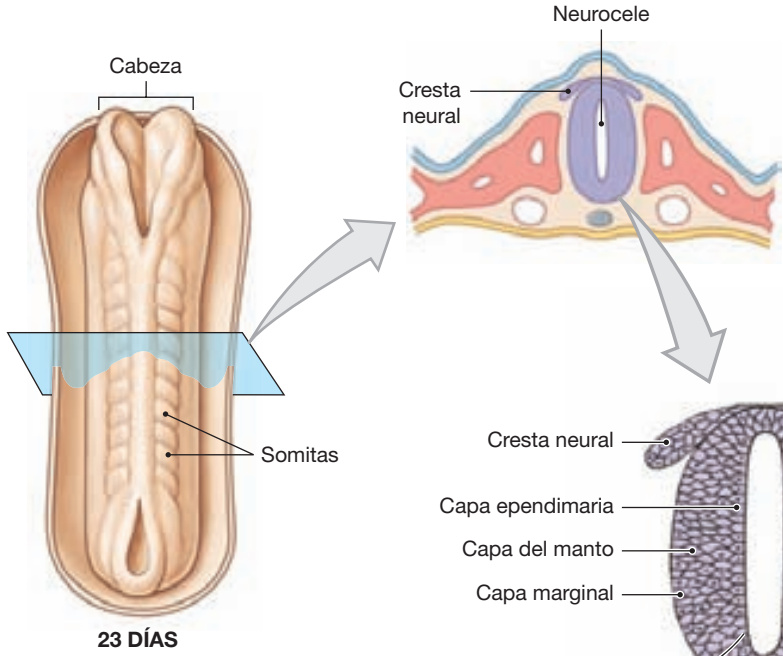


Tras 2 semanas de desarrollo, comienzan a aparecer *somitas* en ambas caras de la *notocorda.* El ectodermo adyacente a la línea media se engrosa para formar una placa normal elevada. El espesor de la **placa neural** es máximo en las inmediaciones de la futura cabeza del embrión en desarrollo.

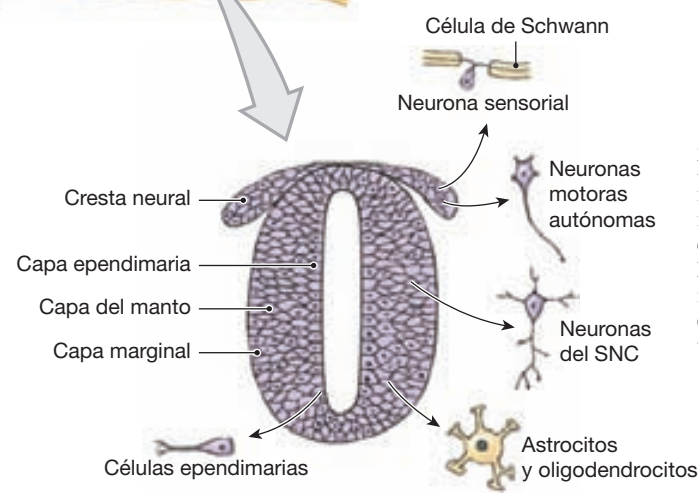


A lo largo del eje de la placa neural se forma un pliegue que origina el **surco neural,** cuyos bordes, o **pliegues neurales,** se acercan de forma paulatina. En un primer momento se ponen en contacto en la zona media del eje de la placa, lo que sucede a finales de la tercera semana.

Las superficies de contacto de los pliegues neurales se fusionan y forman un **tubo neural** cilíndrico que se separa del ectodermo superficial. El proceso de desarrollo del tubo neural se conoce como **neurulación** y concluye antes de 1 semana. La formación del esqueleto de la cabeza y del tronco y la musculatura que rodea al tubo neural en desarrollo se describen en las pp. 768 y 773.



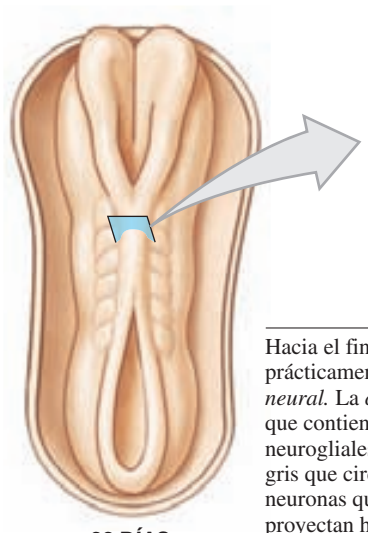
Las células situadas en los extremos de los pliegues neurales no participan en el desarrollo del tubo neural. En un primer momento, estas células de la **cresta neural** están confinadas al espacio limitado por la superficie dorsal del tubo neural y el ectodermo, pero más adelante migrarán a otras localizaciones. El tubo neural se convierte en el SNC. Los axones de las neuronas del tubo neural y las de la cresta neural dan lugar al SNP.



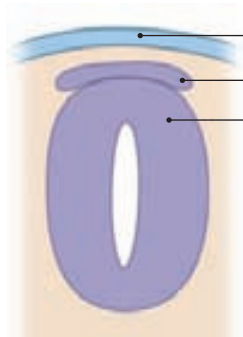
Las primeras células que llegan al manto se diferencian en neuronas, mientras que las últimas se convertirán en astrocitos y oligodendrocitos. En los resúmenes de embriología incluidos en las páginas finales de este capítulo se destalla el desarrollo ulterior del SNC y el SNP.

El grosor del tubo neural aumenta como consecuencia de la división repetida por mitosis de su revestimiento epitelial. Hacia la mitad de la quinta semana de desarrollo se pueden observar tres capas diferentes. La **capa ependimaria** reviste la cavidad o **neurocele.** Las divisiones por mitosis continúan en las células de esta capa, cuyas células hijas dan lugar a la **capa del manto.** Los axones pertenecientes a las neuronas en desarrollo dan lugar a una **capa marginal** superficial.

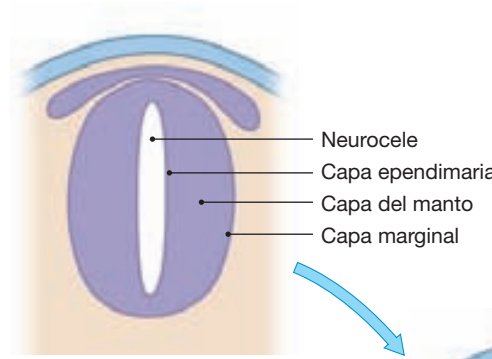
Desarrollo de la médula espinal, parte I



22 DÍAS

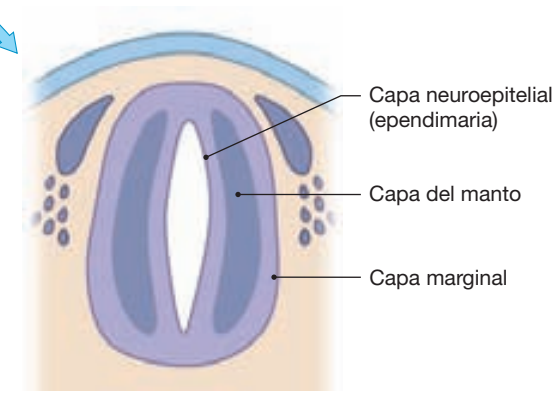


Hacia el final de la quinta semana de desarrollo, prácticamente ha concluido el cierre del *tubo neural.* La *capa del manto* de la médula espinal que contiene a las neuronas y las células neurogliales en desarrollo producirá la sustancia gris que circunda al *neurocele.* Los axones de las neuronas que crecen en la capa del manto se proyectan hacia regiones centrales o periféricas. Los axones abandonan esta capa y se dirigen hacia objetivos sinápticos localizados en una capa *marginal periférica.*



23 DÍAS

En última instancia, los axones darán lugar a haces, o cordones, en la capa marginal, que se agruparán en las columnas que conforman la sustancia blanca de la médula espinal.

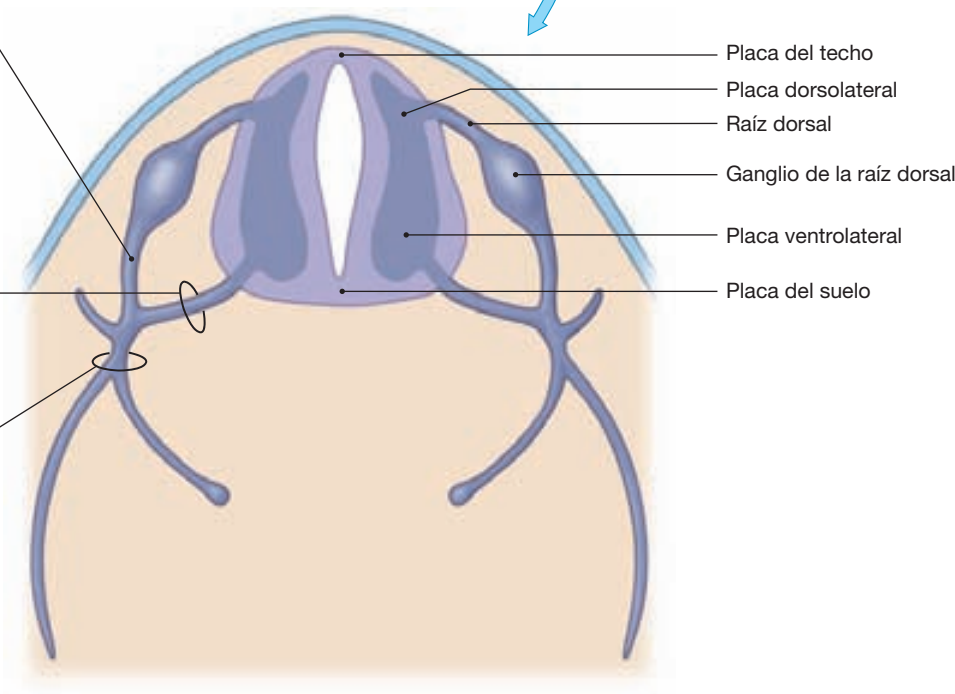


28 DÍAS

En este momento, las células de la *cresta neural* ya han migrado a ambos lados de la médula espinal para formar los ganglios de la raíz dorsal. Las células de la cresta se diferencian en neuronas sensoriales y células de la glía (células de Schwann y células satélite). Estas neuronas sensoriales emiten proyecciones hacia la periferia que entrarán en contacto con receptores y hacia el SNC desde las raíces dorsales.

En cada segmento, los axones de las neuronas motoras en desarrollo forman un par de raíces ventrales que se extienden desde la médula espinal.

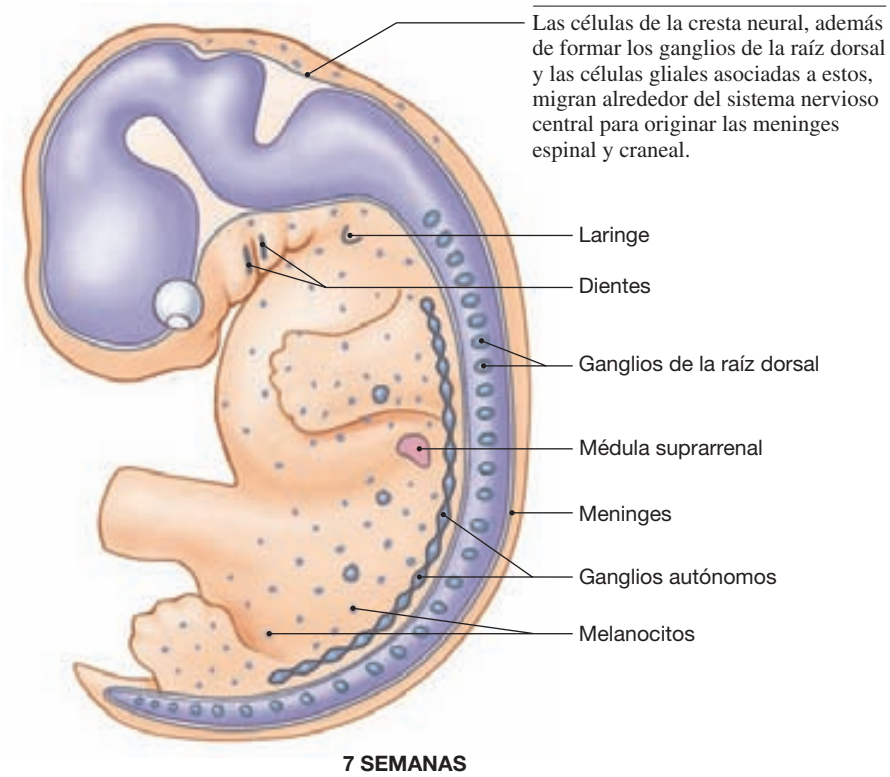
En posición distal respecto a cada ganglio de la raíz dorsal, las ramas eferentes motoras de la raíz ventral y las ramas aferentes sensoriales de la raíz dorsal se agrupan en un único nervio raquídeo. Estos nervios poseen ramificaciones periféricas en un patrón típico, responsable de la distribución de los dermatomas, a lo largo de gran parte de la médula espinal.



7 SEMANAS

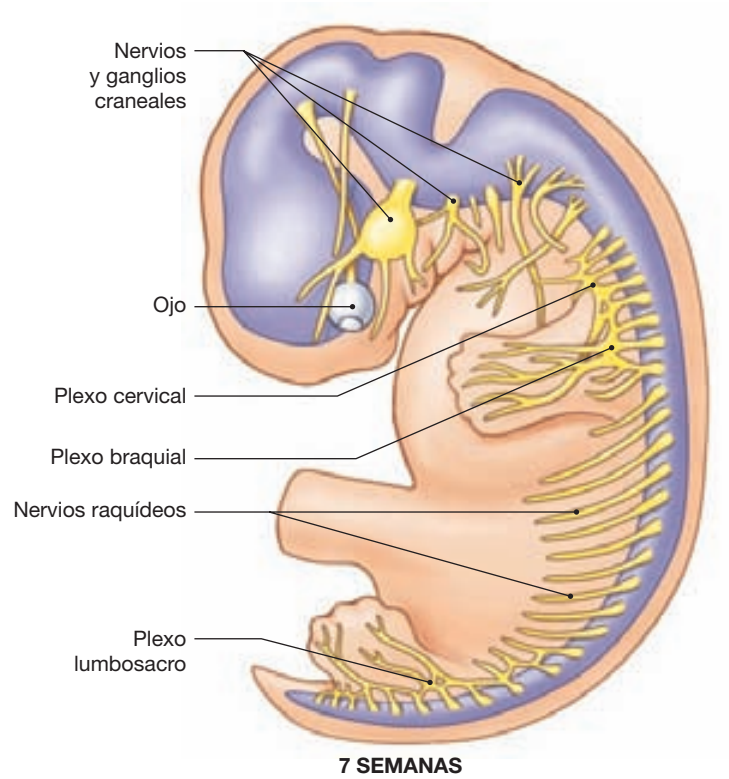
Conforme se desarrolla el manto, las dimensiones del neurocele se reducen a ambos lados hasta convertirse en una cavidad relativamente estrecha. La **placa del techo,** de escaso espesor, y la placa del suelo no se engrosan de forma significativa, al contrario que las **placas dorsolateral** y **ventrolateral.** Las neuronas pertenecientes a la primera recibirán y transmitirán información sensorial, mientras que las de la región ventrolateral se transformarán en neuronas motoras.

Desarrollo de la médula espinal, parte II


Las células de la cresta neural, además de formar los ganglios de la raíz dorsal y las células gliales asociadas a estos, migran alrededor del sistema nervioso central para originar las meninges espinal y craneal.
Laringe
Dientes
Ganglios de la raíz dorsal
Médula suprarrenal
Meninges
Ganglios autónomos
Melanocitos

7 SEMANAS
(Distribución de las células de la cresta neural)

Las células de la cresta neural se agrupan y dan lugar a ganglios autónomos adyacentes a la columna vertebral y los órganos periféricos. Las células que migraron desde esta cresta intervienen en la formación de los dientes y los cartílagos laríngeos, los melanocitos cutáneos, el cráneo, los tejidos conjuntivos y los músculos intrínsecos del ojo, las células de Schwann, las células satélite y la médula suprarrenal.



7 SEMANAS
(Distribución de nervios periféricos)

Cada extremidad en desarrollo recibe inervación de varios nervios raquídeos. Las células musculares embrionarias que migran desde el miótomo se acompañan de células neurales. En los músculos extensos del adulto procedentes de varios bloques miotómicos, a menudo los segmentos de tejido conjuntivo denotan los límites originales, y su inervación procede siempre de más de un nervio raquídeo.

MALFORMACIONES CONGÉNITAS

Espina bífida

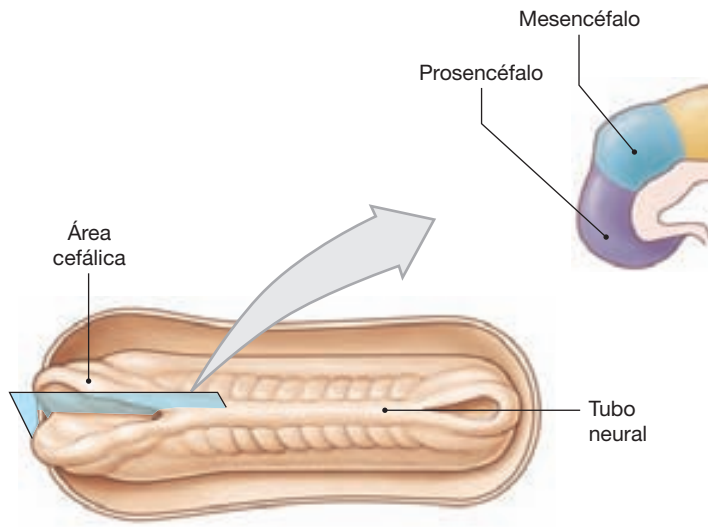
La **espina bífida** se desarrolla cuando las láminas vertebrales en desarrollo no se fusionan debido a una anomalía de la formación del tubo neural en esa región. Como consecuencia de ella, el arco neural está incompleto y las meninges sobresalen hacia fuera por debajo de la piel de la espalda. La amplitud de la anomalía define la gravedad del trastorno. La alteración puede no detectarse en los casos más leves, mientras que en los de mayor gravedad afecta a gran parte de la longitud de la columna vertebral.

Defecto del tubo neural

Un **defecto del tubo neural (DTN)** es una alteración debida a un error en el desarrollo de la médula espinal. Un fragmento de ella se desarrolla en forma de placa aplanada en vez de dar lugar a un cilindro hueco, lo que a menudo se asocia a la espina bífida. Los defectos del tubo neural afectan aproximadamente a un sujeto de cada 1.000; el cribado prenatal permite detectar estas anomalías en el 80%-85% de los casos.

Desarrollo del encéfalo, parte I

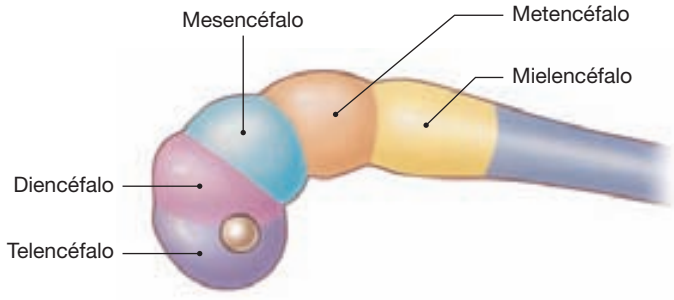
Antes de continuar, se recomienda el repaso de los resúmenes de embriología anteriores relativos a la formación del cráneo, la columna vertebral y la médula ósea.



La expansión cefálica inicial se produce de manera simultánea al crecimiento del neurocele y provoca la formación de **vesículas encefálicas** definidas: 1) el **prosencéfalo** o «encéfalo anterior»; 2) el **mesencéfalo** o «encéfalo intermedio», y 3) el **romboencéfalo** o «encéfalo posterior». El prosencéfalo y el romboencéfalo se dividirían de nuevo en una fase ulterior del desarrollo.

La porción cefálica comienza a crecer incluso antes de que haya finalizado la formación del **tubo neural.** Las principales diferencias existentes entre la formación del cerebro y la médula espinal consisten en: 1) desintegración temprana de las capas del manto (sustancia gris) y marginal (sustancia blanca); 2) aparición de fragmentos de corteza neural; 3) desarrollo diferencial de zonas entre regiones y en algunas de estas; 4) formación de curvas y pliegues característicos, y 5) desaparición de la clara organización segmentaria.

23 DÍAS

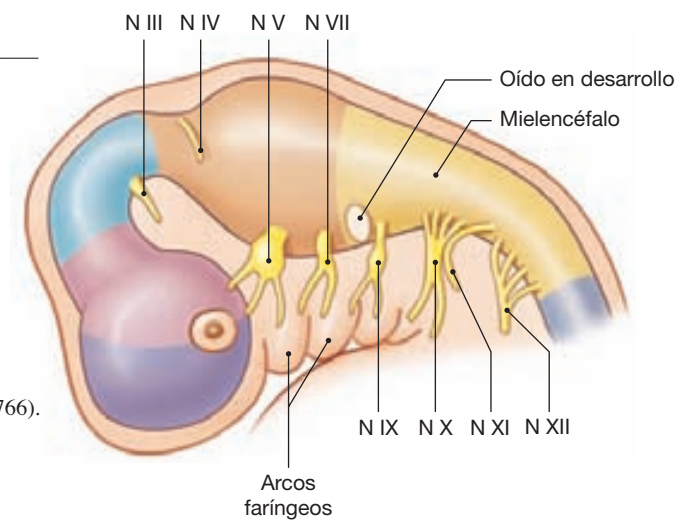


El romboencéfalo se divide primeramente en el **metencéfalo** (*meta,* después) y el **mielencéfalo** (*mielon,* médula espinal).

El prosencéfalo produce el **telencéfalo** (*telos,* final + *enkephalos,* cerebro) y el **diencéfalo.** La formación del primero comienza con la aparición de un par de dilataciones cercanas al margen dorsolateral rostral de aquel.

4 SEMANAS

Los nervios craneales se forman como ganglios sensoriales y unen los receptores periféricos con el cerebro; las fibras motoras se proyectan desde los núcleos craneales en desarrollo. Se forman neuronas sensoriales especiales de los nervios craneales I, II y VIII que se asocian a los receptores en desarrollo. Los nervios motores somáticos III, IV y VI inervan los músculos del ojo; los nervios mixtos (V, VII, IX y X) harán lo propio con los **arcos faríngeos** (p. 766).



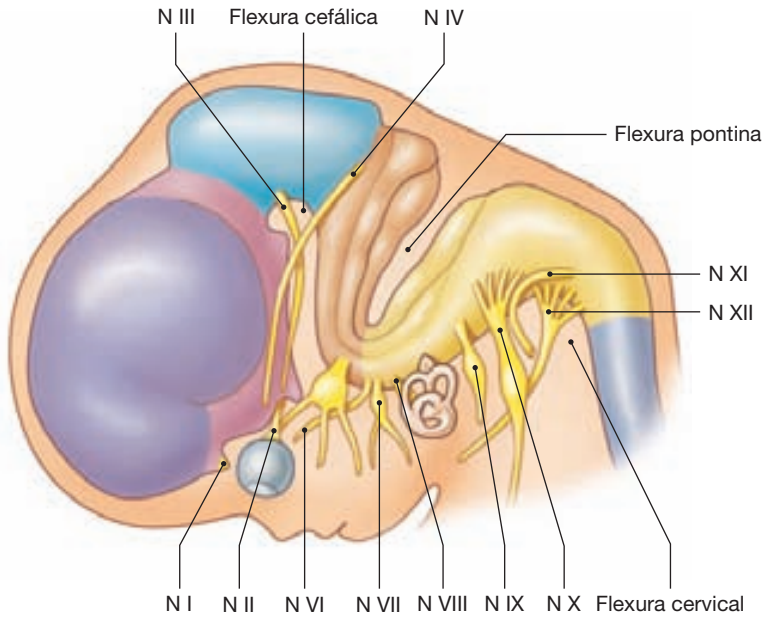
La formación del **mesencéfalo** genera una pequeña masa de tejido neural con un reducido neurocele, el *acueducto del mesencéfalo*.

A medida que avanza el desarrollo diferencial y se modifican la posición y la orientación del embrión, aparecen una serie de curvas, o **flexuras,** a lo largo del eje del encéfalo en desarrollo.

5 SEMANAS

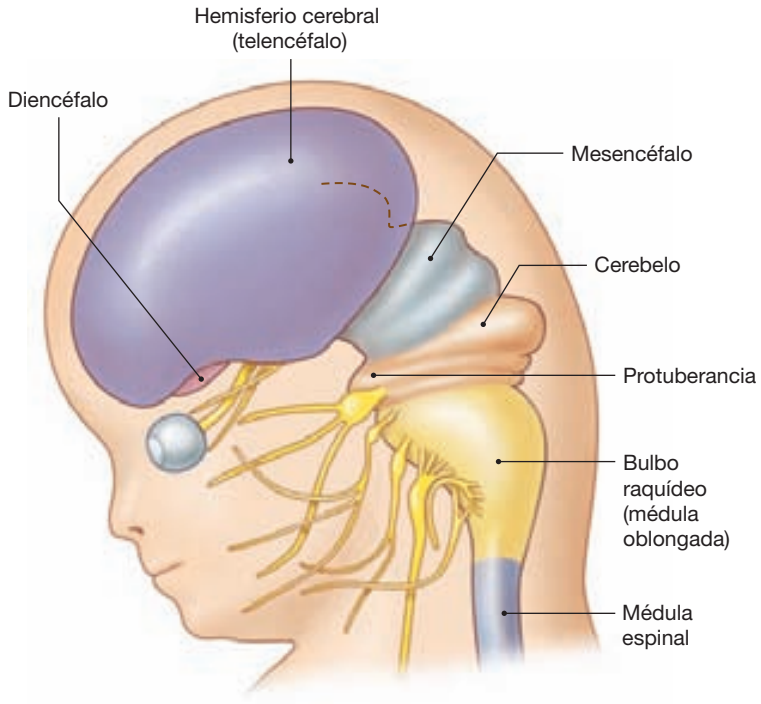
Desarrollo del encéfalo, parte II

El desarrollo de los techos del diencéfalo y el mielencéfalo ha fallado, de modo que una delgada capa ependimal está en contacto con las meninges en desarrollo. Los vasos sanguíneos que invaden estas estructuras originan el **plexo coroideo.**



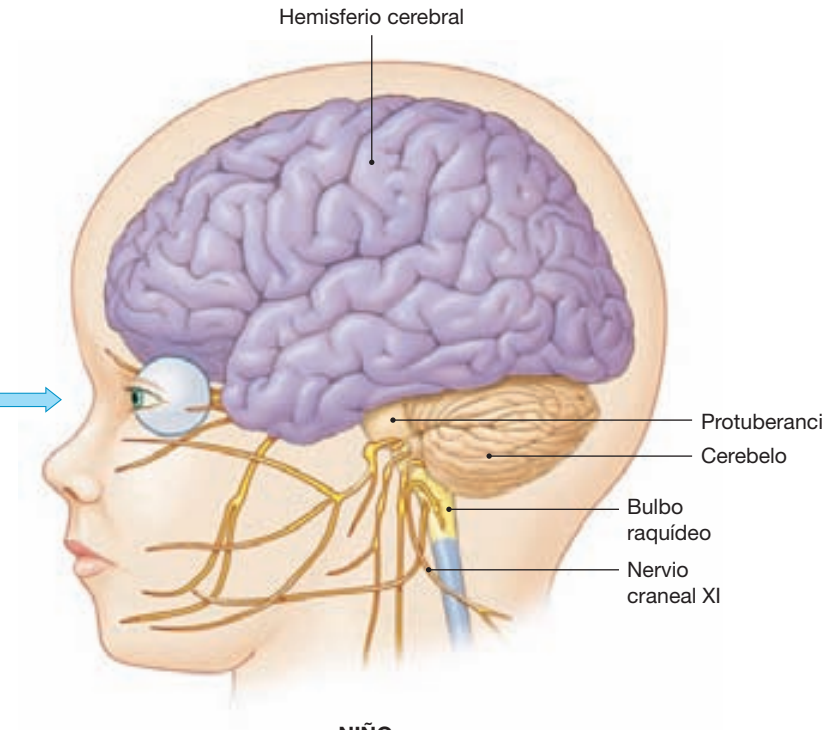
8 SEMANAS

El encéfalo se convierte en un órgano más compacto conforme avanza su desarrollo y aparece la flexura pontina. En esta fase, los hemisferios cerebrales dominan las superficies lateral y superior del encéfalo. Los neuroblastos migran para formar la corteza cerebral y las masas subyacentes de sustancia gris darán lugar a los núcleos basales.



Después de 11 semanas, los hemisferios cerebrales en fase de expansión han superado al diencéfalo. En el metencéfalo, la formación y la expansión de la corteza dan lugar al cerebelo, el cual recubre los núcleos y los conductos de la protuberancia.

11 SEMANAS

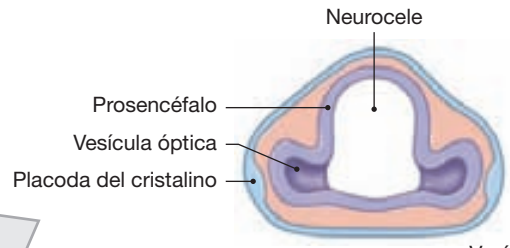


NIÑO

Desarrollo de órganos sensoriales especializados, parte I

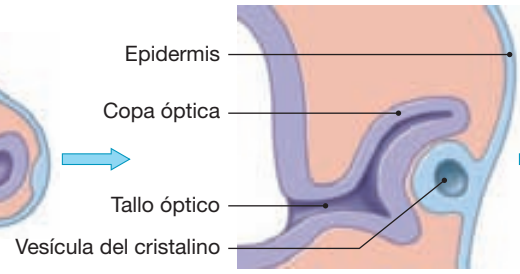
La formación de todos los órganos sensoriales especializados se debe a la interacción del epitelio con el sistema nervioso en desarrollo del embrión.

VISTA

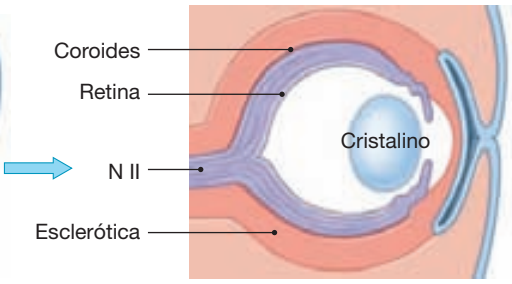


4 SEMANAS

El desarrollo óptico se pone en marcha con la aparición de un par de prominencias denominadas **vesículas ópticas** en las paredes laterales del prosencéfalo que se extienden a ambos lados de manera similar a un par de mancuernas, cada una de las cuales contiene una cavidad continua con el neurocele.

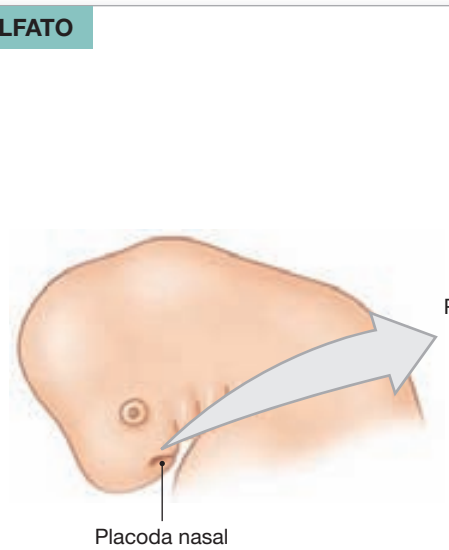


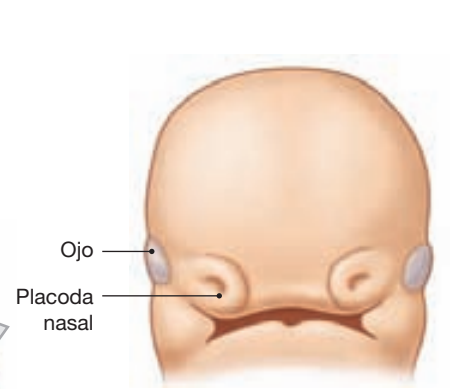
Las prominencias se indentan para formar un par de **copas ópticas** que se conectan con el diencéfalo a través de los **tallos ópticos.** A su vez, la epidermis que recubre la copa óptica genera una **placoda del cristalino** que se engrosa para crear otra vesícula. Esta **vesícula del cristalino** se convertirá posteriormente en el cristalino.



El mesodermo que rodea a este complejo forma la coroides y la esclerótica. Aparecen sendas cavidades, anterior y posterior, en el mesodermo.

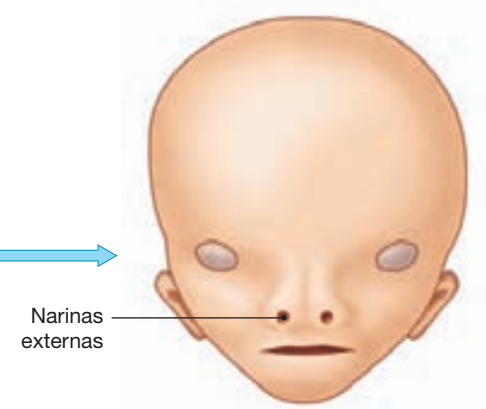
OLFATO





5 SEMANAS

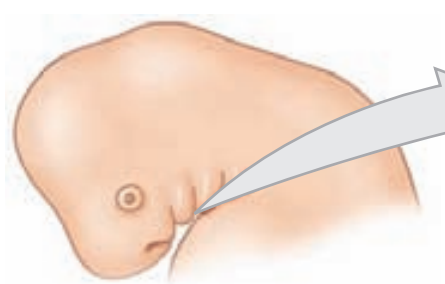
El desarrollo de los receptores olfativos se inicia con la formación de un par de engrosamientos en posición anterior respecto al prosencéfalo a lo largo de la quinta semana de desarrollo. Reciben el nombre de **placodas nasales.**

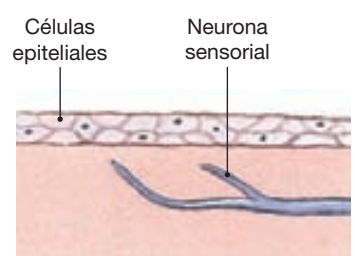


10 SEMANAS

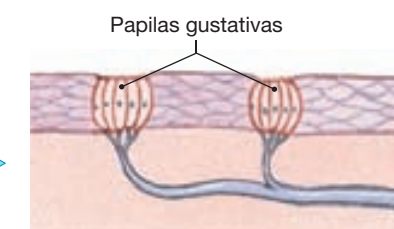
Con el paso del tiempo, las placodas nasales se repliegan y quedan protegidas por las estructuras faciales. (El desarrollo facial se aborda en el resumen de embriología relativo al cráneo.)

GUSTO





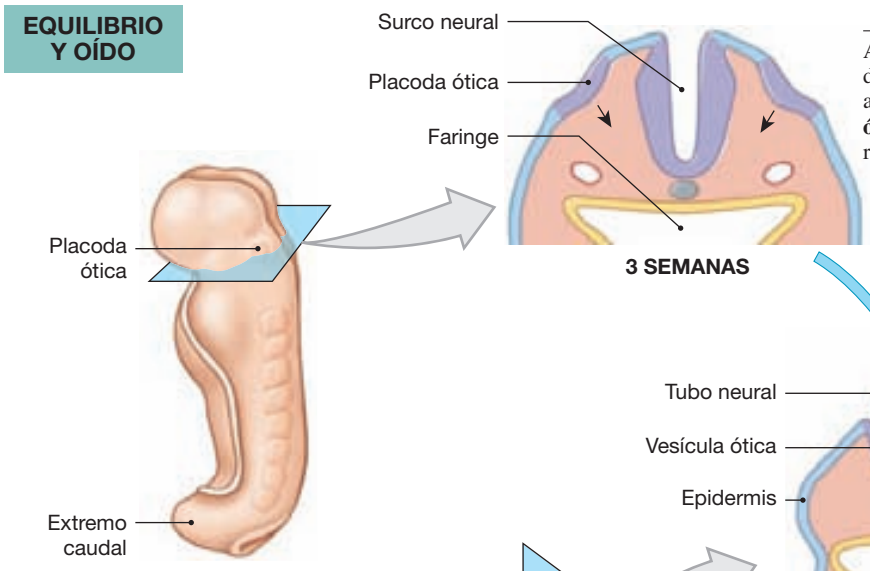
Los receptores gustativos constituyen las células menos especializadas de los órganos sensoriales. El crecimiento de las fibras sensoriales en la boca y la faringe da lugar a las papilas gustativas.



Cuando las terminaciones nerviosas entran en contacto con las células epiteliales, estas se diferencian en células gustativas. Las papilas gustativas desaparecen cuando se interrumpen los nervios sensoriales, mientras que el desplazamiento de estos provoca la formación de nuevas papilas en otro emplazamiento.

Desarrollo de órganos sensoriales especializados, parte II

EQUILIBRIO Y OÍDO



A finales de la tercera semana de desarrollo, se observa la aparición de un par de **placodas óticas** a ambos lados del romboencéfalo.

Las placodas óticas forman unos profundos bolsillos que más adelante se separarán de la epidermis y crearán sendas **vesículas óticas.**

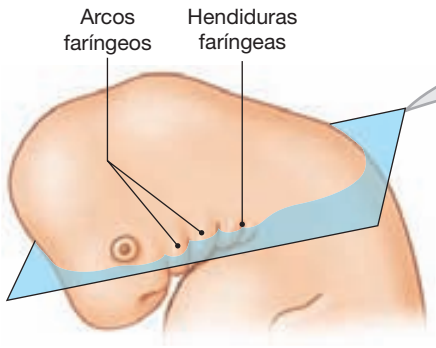
La morfología de estas vesículas se transforma con el paso del tiempo hasta dar lugar a un laberinto membranoso. La formación de esta estructura concluye hacia el final del tercer mes.

Los segmentos engrosados de las vesículas óticas se diferencian en los *ganglios espirales* y *vestibulares*. Sus terminaciones sensoriales se proyectan hacia los folículos pilosos en desarrollo.

A medida que se forman estas estructuras, el mesénquima circundante se diferencia en cartílago, que posteriormente se osificará para dar lugar al laberinto óseo.

Desarrollo del sistema endocrino, parte I

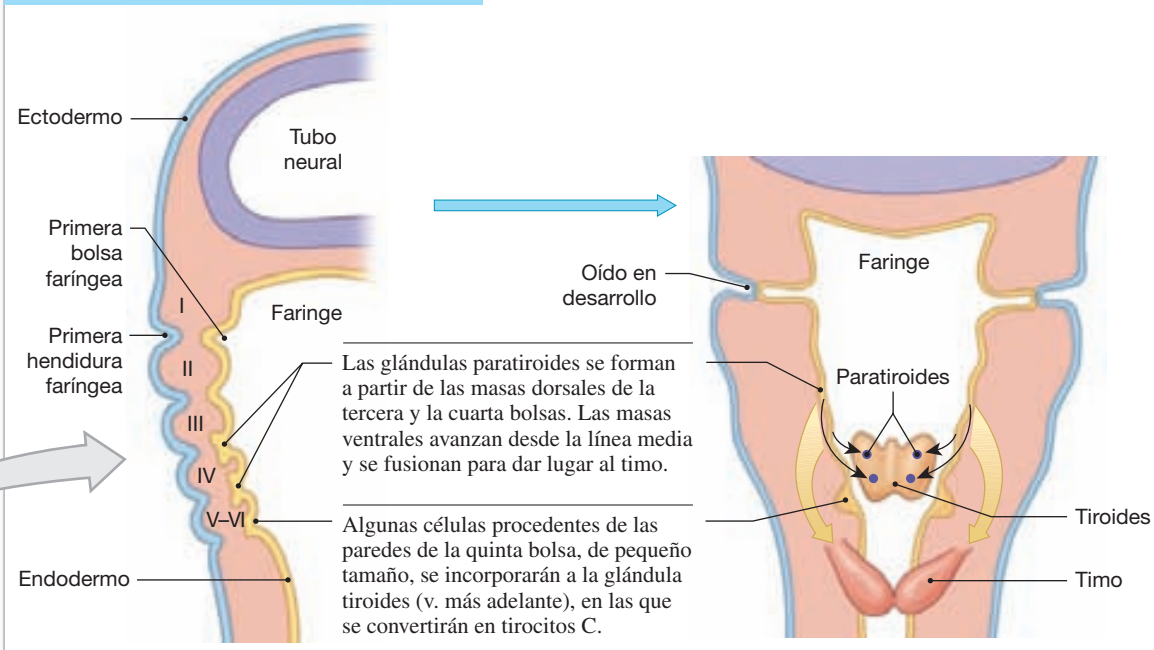
Como se ha señalado en el capítulo 3, las glándulas secretoras, tanto las exocrinas como las endocrinas, proceden del epitelio. Los órganos endocrinos se forman a partir del epitelio: 1) que recubre la superficie exterior del embrión; 2) que tapiza el tubo digestivo, y 3) que reviste la cavidad celómica.



SEMANA 5

La región faríngea del embrión juega un destacado papel en el desarrollo del sistema endocrino. Los *arcos faríngeos* se han formado ya después de 4 a 5 semanas de desarrollo. En el embrión humano aparecen cinco o seis arcos faríngeos, aunque no todos ellos pueden visualizarse desde el exterior. (El quinto arco puede no formarse o bien desarrollarse para degenerarse de inmediato.) Las hendiduras faríngeas, unos profundos *surcos faríngeos,* separan a los cinco arcos principales (I-IV, VI).

GLÁNDULAS PARATIROIDES Y TIMO

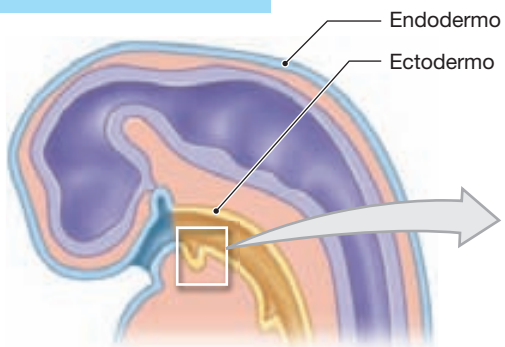


Las glándulas paratiroides se forman a partir de las masas dorsales de la tercera y la cuarta bolsas. Las masas ventrales avanzan desde la línea media y se fusionan para dar lugar al timo.

Algunas células procedentes de las paredes de la quinta bolsa, de pequeño tamaño, se incorporarán a la glándula tiroides (v. más adelante), en las que se convertirán en tirocitos C.

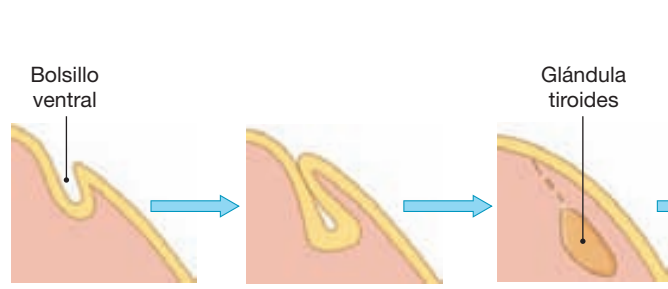
En una sección transversal, las cinco **bolsas faríngeas** se extienden lateralmente hacia las hendiduras faríngeas. La primera bolsa ocupa una posición caudal respecto al primer arco (mandibular). Las bolsas faríngeas quinta y sexta son dos estructuras muy pequeñas que se encuentran conectadas entre sí. El endodermo que reviste los pares tercero, cuarto y quinto de las bolsas faríngeas da lugar a masas celulares dorsales y ventrales que migran por debajo del epitelio endodérmico.

GLÁNDULA TIROIDES

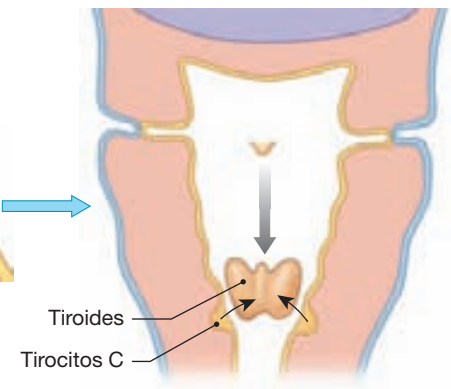


SEMANA 5, sección sagital media

La línea creada por las papilas caliciformes de la lengua define la frontera entre el ectodermo y el endodermo *(v. figura 18.7, p. 478).* Esta línea se corresponde en términos generales con la zona media del arco mandibular (primer arco). La glándula tiroides se forma en la línea media ventral.



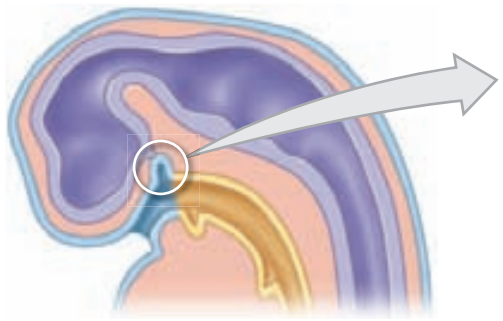
La formación de la glándula tiroides comienza con un bolsillo situado en la línea media ventral. Al proyectar algunas ramificaciones, las paredes de este bolsillo se engrosan y los pares de masas se separan de la superficie.



La glándula tiroides se desplaza en sentido caudal hasta adoptar una posición adyacente al cartílago tiroideo de la laringe conforme el embrión crece y cambia su morfología. A lo largo de este recorrido, la glándula incorpora tirocitos C procedentes de las paredes de la quinta bolsa.

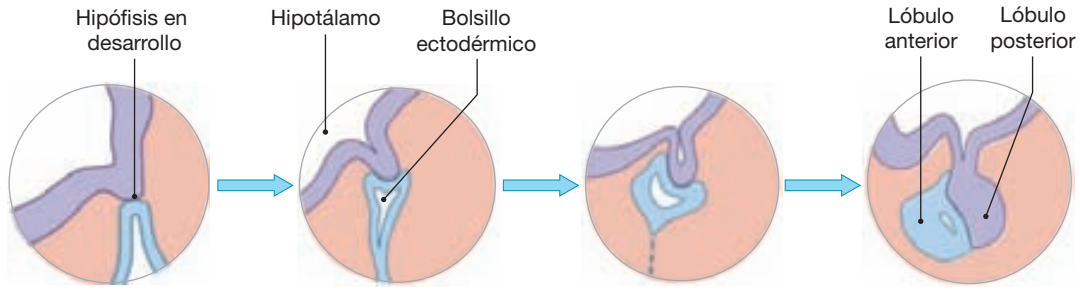
Desarrollo del sistema endocrino, parte II

HIPÓFISIS



SEMANA 5, sección sagital media

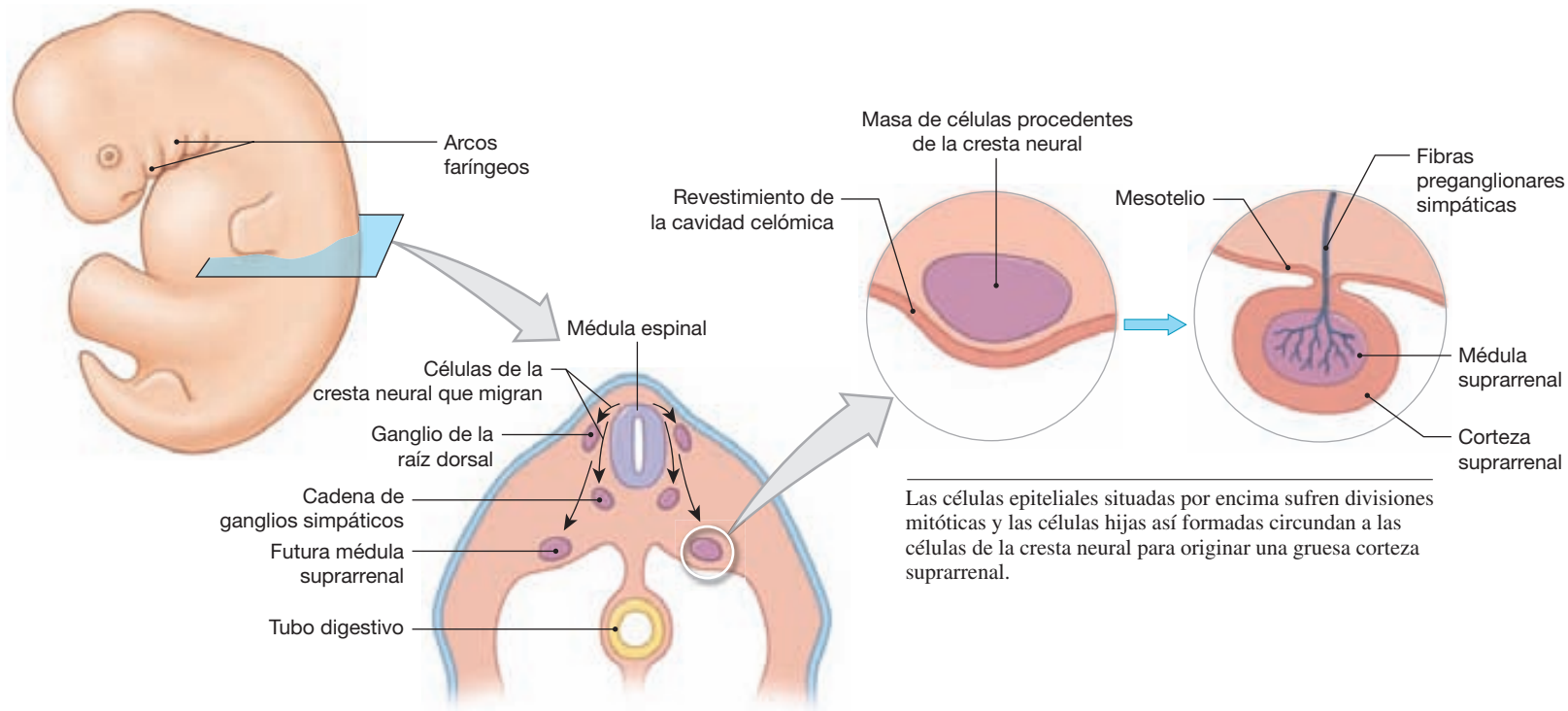
La hipófisis se forma en la línea media dorsal por encima de la glándula tiroidea en desarrollo.



El origen de la hipófisis es mixto. El primer paso consiste en la formación de un bolsillo ectodérmico en la línea media dorsal de la faringe, el cual se separa de esta para dar lugar a una masa celular hueca situada por debajo del diencéfalo y por detrás del quiasma óptico.

La división de estas células da lugar a la desaparición gradual de la cavidad central. Esta masa endocrina se convertirá en la adenohipófisis (lóbulo anterior de la hipófisis). La neurohipófisis (lóbulo posterior de la hipófisis) comienza a formarse a partir de una depresión del suelo hipotalámico que se extiende hacia la adenohipófisis en desarrollo.

GLÁNDULAS SUPRARRENALES



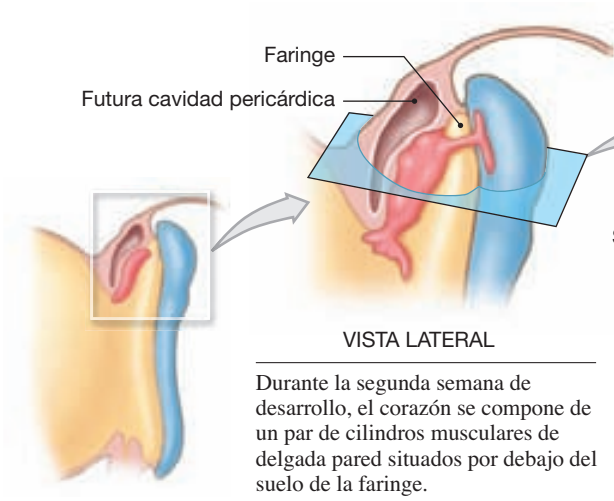
El origen de las glándulas suprarrenales también es mixto. Poco después de la formación del *tubo neural,* las células que integran la cresta neural abandonan el SNC, lo que da lugar a los ganglios de la raíz dorsal y los ganglios autónomos. Las células de la cresta neural se agregan a cada lado de la cavidad celómica para crear una masa que posteriormente se transformará en la médula suprarrenal.

Las células epiteliales situadas por encima sufren divisiones mitóticas y las células hijas así formadas circundan a las células de la cresta neural para originar una gruesa corteza suprarrenal.

SEMANA 5

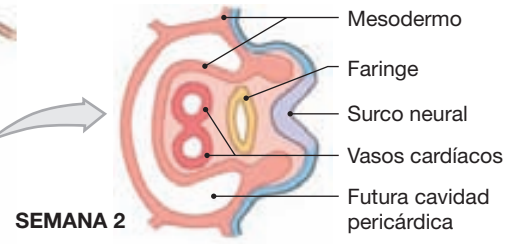
Se remite al lector interesado en información más detallada acerca del desarrollo de otros órganos endocrinos a los siguientes resúmenes de embriología relativos al sistema linfático y los aparatos digestivo, urinario y reproductor.

Desarrollo del corazón



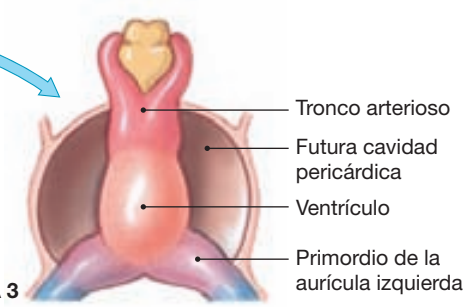
VISTA LATERAL

Durante la segunda semana de desarrollo, el corazón se compone de un par de cilindros musculares de delgada pared situados por debajo del suelo de la faringe.



SEMANA 2

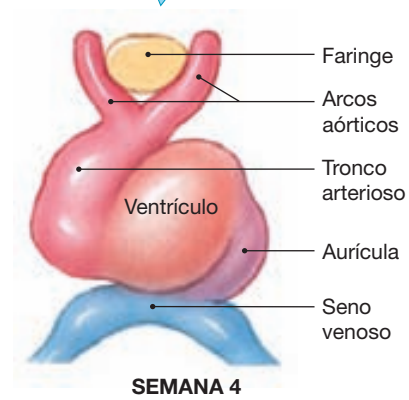
La placa lateral mesodérmica de esta región se ha dividido ya en las capas parietal y visceral, lo que crea un espacio que posteriormente dará lugar a la cavidad pericárdica.



SEMANA 3

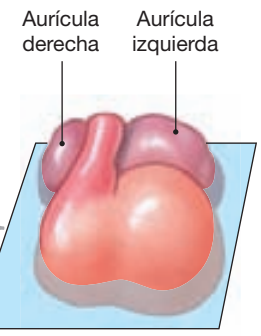
VISTA VENTRAL

Hacia la tercera semana, el corazón bombea y distribuye sangre. Se han fusionado los tubos cardíacos para originar un corazón dotado de una cavidad central única. Dos venas de gran calibre conducen la sangre al corazón y una gran arteria solitaria, el **tronco arterioso,** distribuye la sangre al torrente circulatorio.



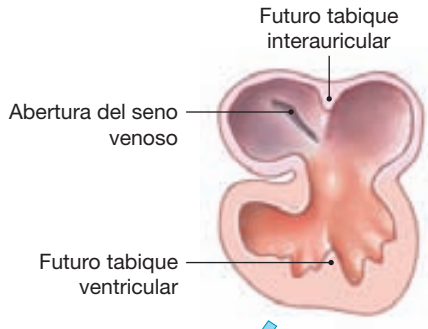
SEMANA 4

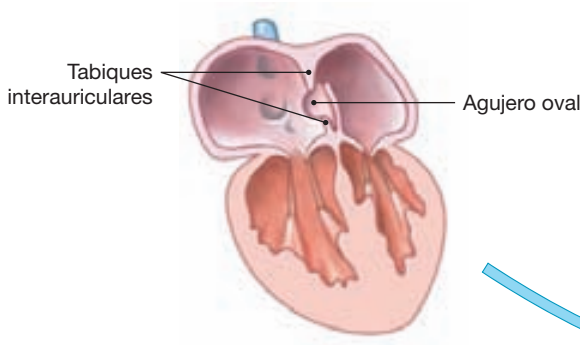
El corazón se alarga a medida que crece el embrión. Se curva hacia sí mismo en sentido posterior para formar una curvatura en S que cada vez se torna más pronunciada. Los espesores de las regiones auricular y ventricular difieren entre sí.



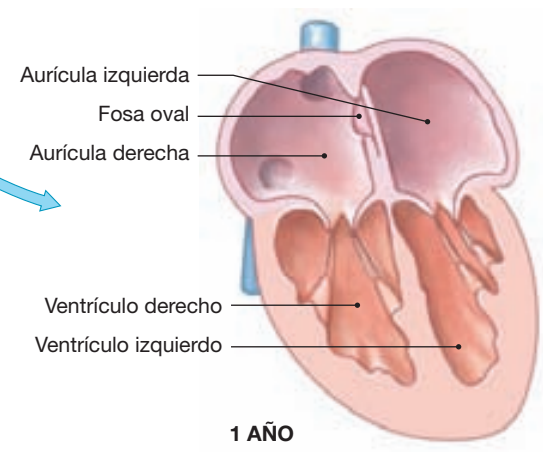
SEMANA 5

A lo largo de esta semana, los tabiques interauriculares e interventriculares comienzan a subdividir la cavidad cardíaca.





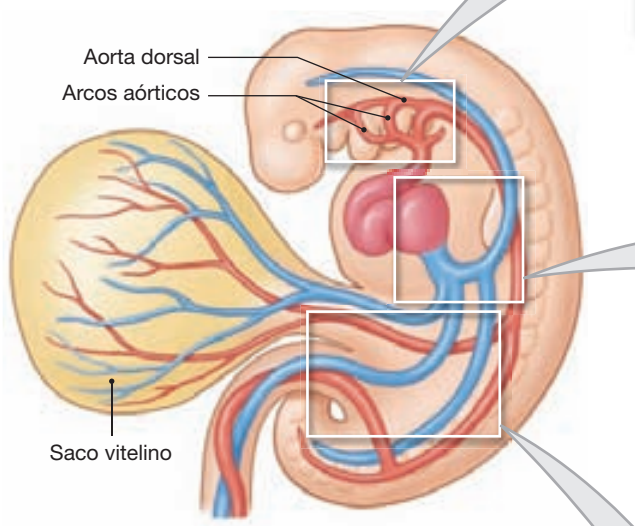
Se forman dos tabiques auriculares que se solapan entre sí. El espacio que queda entre ambos, conocido como **agujero oval,** hace posible el paso de la sangre desde la aurícula derecha hacia la izquierda. La presencia de un colgajo que actúa como válvula unidireccional impide el paso retrógrado de la sangre de la aurícula izquierda hacia la derecha. Hasta el momento del nacimiento, este circuito auricular corto desvía sangre del circuito pulmonar.



1 AÑO

El agujero oval se cierra tras el nacimiento, lo que separa los circuitos pulmonar y sistémico en el corazón. El adulto conservará siempre una depresión somera, la **fosa oval,** en el lugar donde se encontraba anteriormente dicho agujero (los demás cambios que se producen en el aparato cardiovascular al nacer se resumen en las figuras 18.7, p. 478, y 22.8, p. 602.)

Desarrollo del aparato cardiovascular

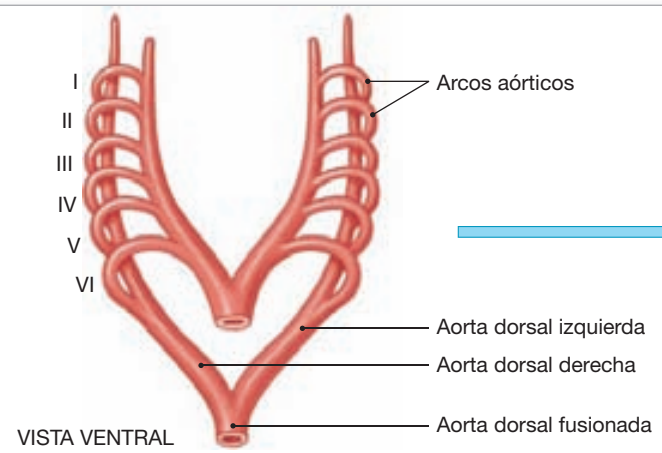


4 SEMANAS

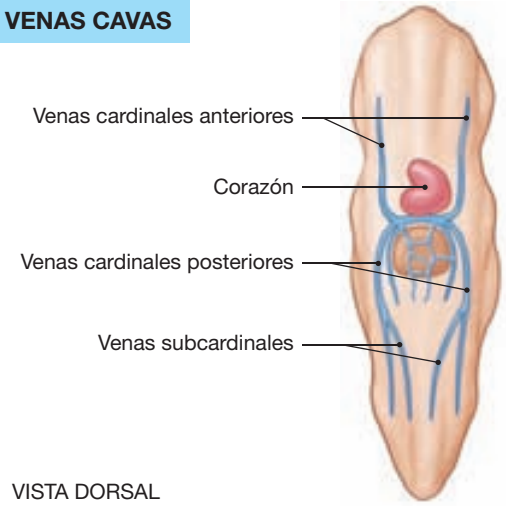
Se mostrará el desarrollo de tres complejos vasculares destacados: el arco aórtico, la vena cava y los sistemas de la vena porta y umbilical. (Las arterias se representan en color rojo y las venas en azul de manera independiente de la oxigenación de la sangre en ellas transportada.)

ARCOS AÓRTICOS

Un **arco aórtico** conduce sangre arterial a través de cada uno de los *arcos faríngeos.* Estos vasos se fusionan en la pared faríngea posterior y dan lugar a la **aorta dorsal,** la cual distribuye la sangre por todo el organismo. Generalmente, los arcos reciben una numeración de I a VI que coincide con la de los arcos faríngeos.

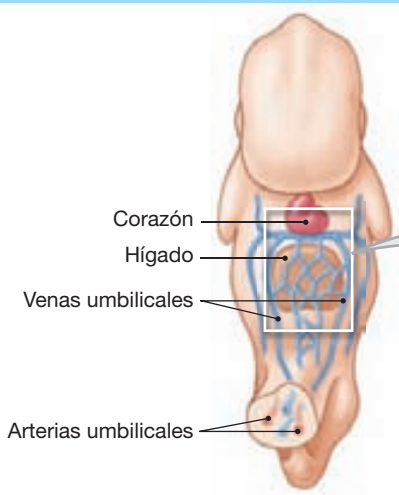


VENAS CAVAS



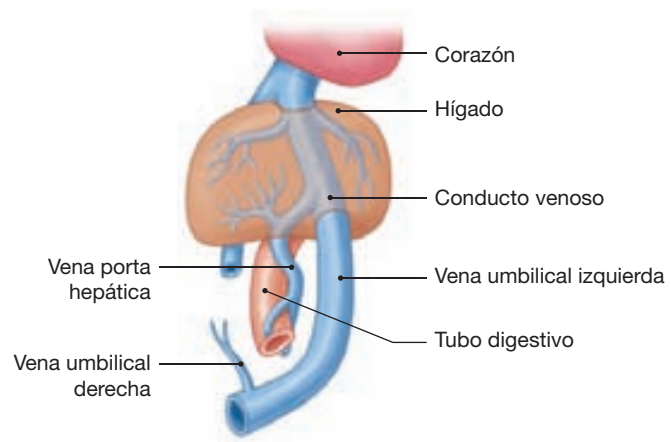
La circulación venosa que drena los tejidos de la pared corporal, las extremidades y la cabeza en una fase temprana del desarrollo se basa en los pares de **venas cardinales anteriores, venas cardinales posteriores** y **venas subcardinales.**

VENA PORTA HEPÁTICA Y VENAS UMBILICALES



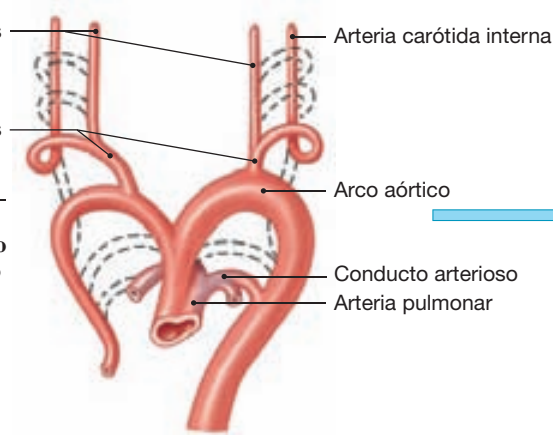
4 SEMANAS

Los pares de arterias umbilicales irrigan la placenta. En la cuarta semana, los pares de venas umbilicales conducen la sangre hasta los capilares hepáticos. Las venas que recorren el tubo digestivo presentan numerosas conexiones entre sí.

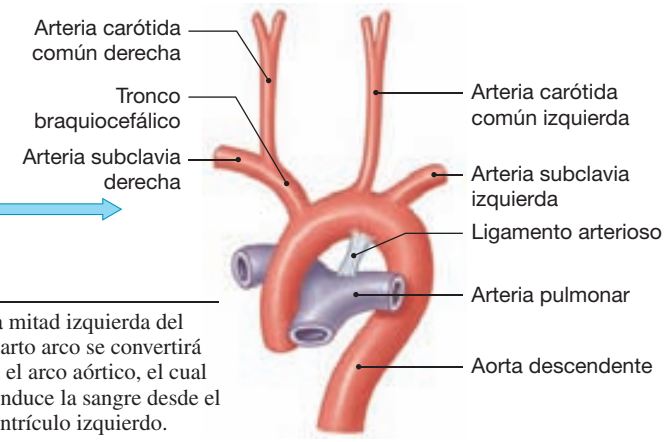


12 SEMANAS

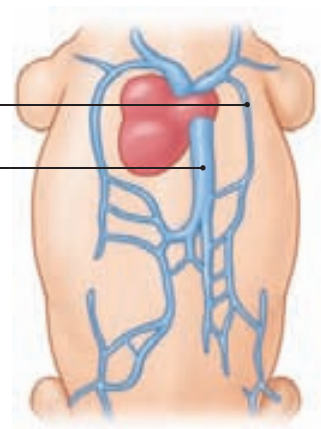
Tras 12 semanas de desarrollo, la vena umbilical derecha desaparece y la sangre procedente de la placenta se conduce en una vena umbilical solitaria. El conducto venoso permite que una fracción de la sangre venosa no atraviese el hígado. Las venas que drenan el tubo digestivo se fusionan y originan la vena porta hepática.



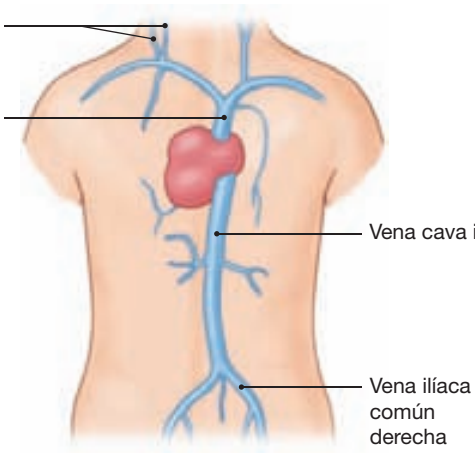
El desarrollo continúa y algunos de estos arcos se desintegran. El **conducto arterioso** crea un cortocircuito externo entre los circuitos pulmonar y sistémico. La mayoría de la sangre que ingresa en la aurícula derecha no pasa por los pulmones, sino que lo hace por el conducto arterioso o el **agujero oval** del corazón.



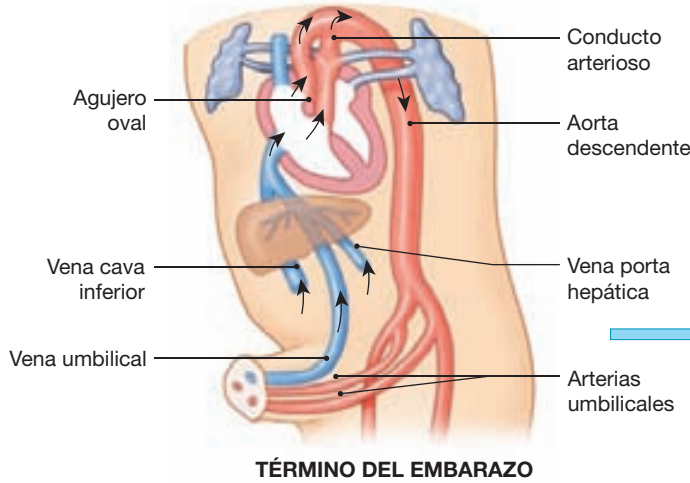
La mitad izquierda del cuarto arco se convertirá en el arco aórtico, el cual conduce la sangre desde el ventrículo izquierdo.



Estas venas establecen conexiones entre sí, cuya fusión y destrucción da lugar a estructuras de mayor calibre que sirven a la aurícula derecha.

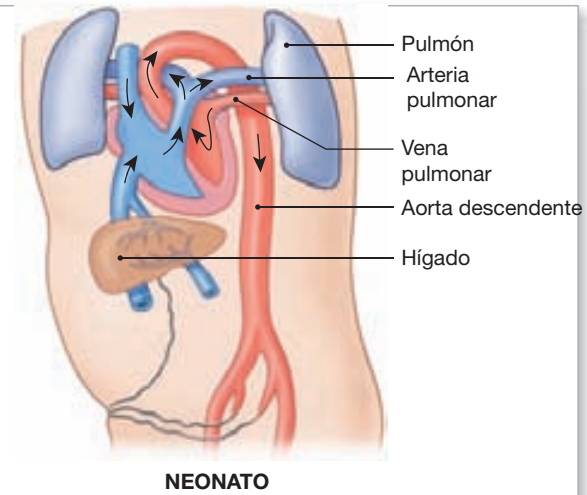


El proceso continúa hasta dar lugar a las venas cava superior e inferior.



TÉRMINO DEL EMBARAZO

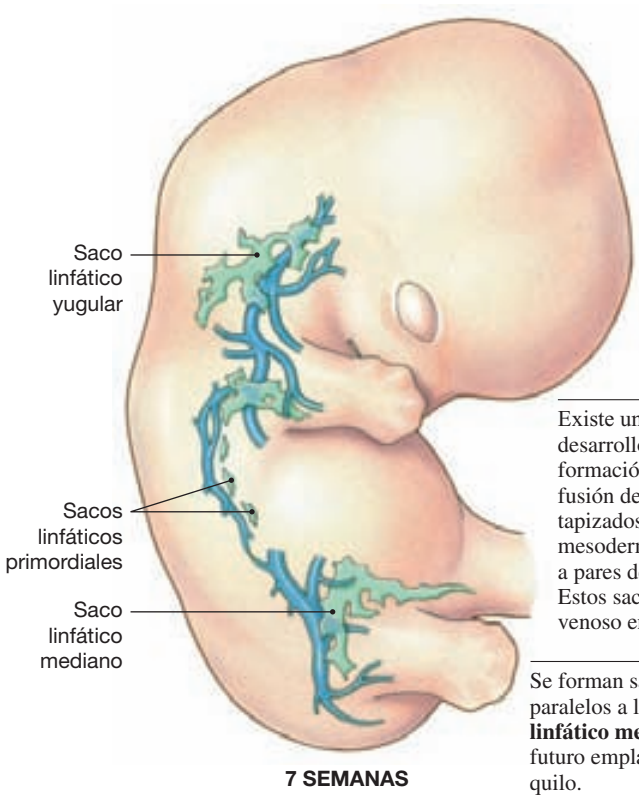
Poco después del nacimiento, la sangre que regresa a la placenta pasa por el hígado a través del conducto venoso hasta llegar a la vena cava inferior. Un volumen importante de la sangre conducida por las venas cavas sortea a los pulmones al pasar por el agujero oval y el conducto arterioso.



NEONATO

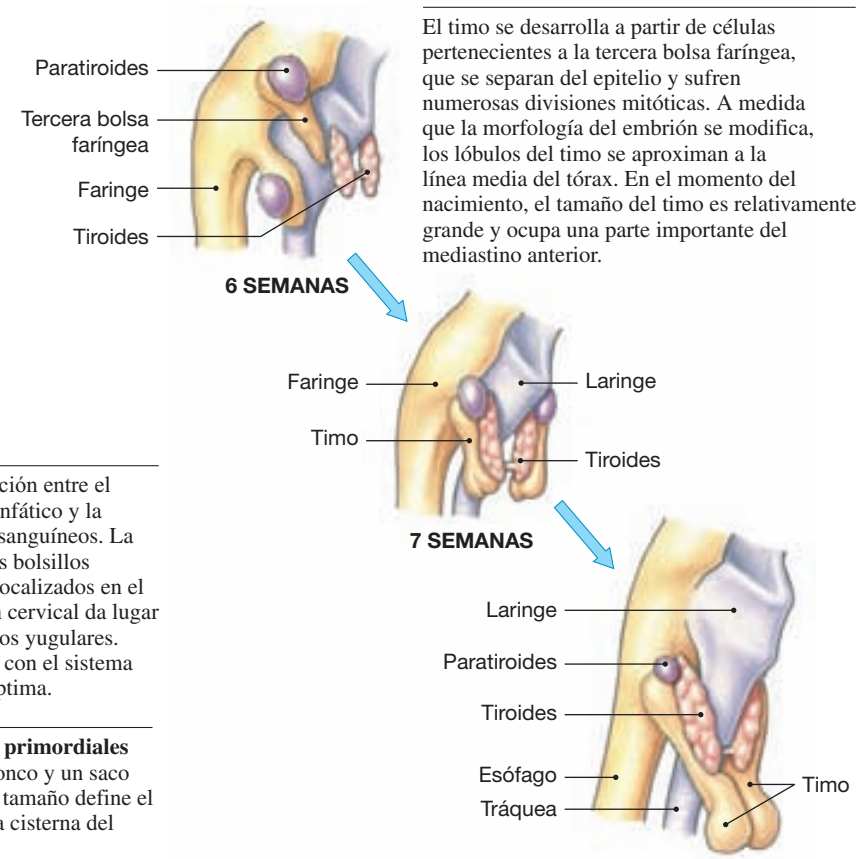
En el nacimiento, las presiones de las cavidades pleurales descienden conforme se ensancha el tórax cuando el neonato respira por primera vez. Los vasos pulmonares se dilatan y la irrigación pulmonar se incrementa. La presión de la aurícula derecha disminuye, de modo que la presión de la izquierda cierra la válvula que protege al agujero oval. Las fibras de músculo liso se contraen alrededor del conducto arterioso, que termina por transformarse en el **ligamento arterioso,** un cordón fibroso.

Desarrollo del sistema linfático

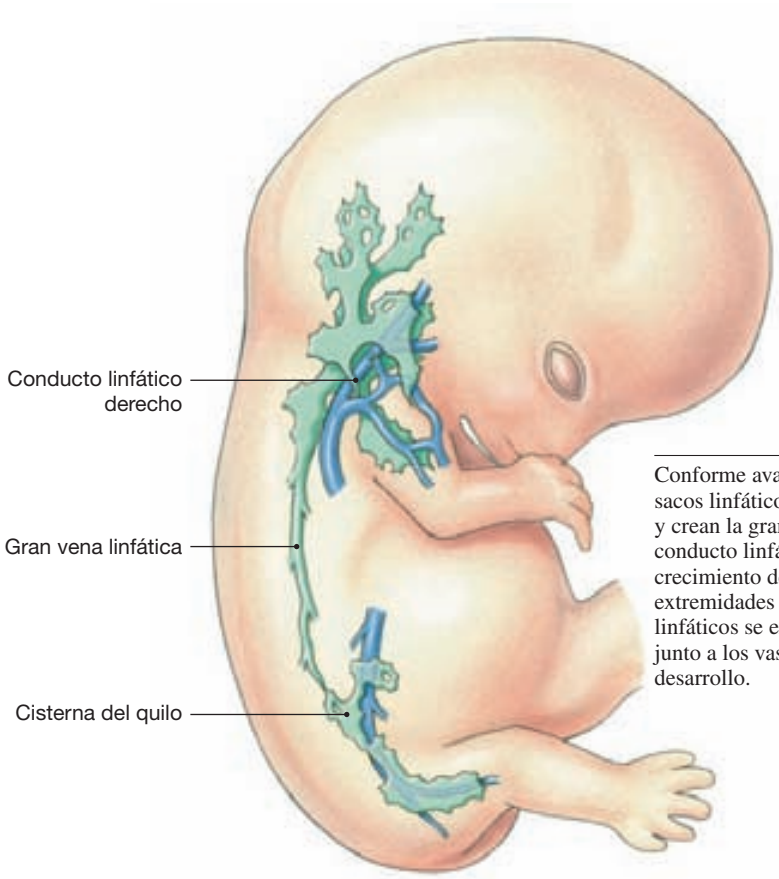


Existe una estrecha relación entre el desarrollo del sistema linfático y la formación de los vasos sanguíneos. La fusión de unos pequeños bolsillos tapizados de epitelio y localizados en el mesodermo de la región cervical da lugar a pares de sacos linfáticos yugulares. Estos sacos se conectan con el sistema venoso en la semana séptima.

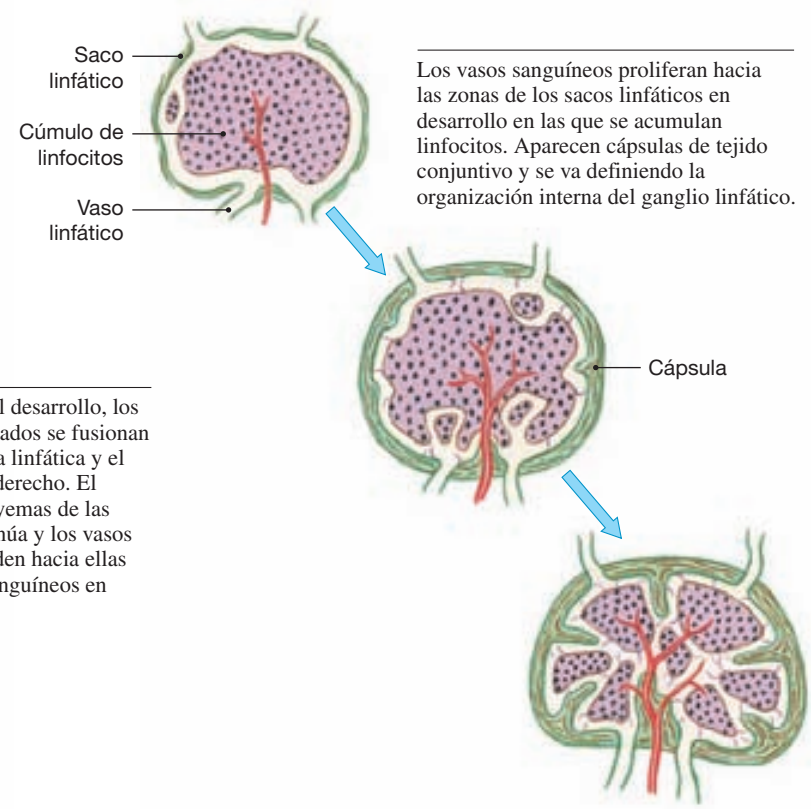
Se forman sacos **linfáticos primordiales** paralelos a las venas del tronco y un saco **linfático mediano** de gran tamaño define el futuro emplazamiento de la cisterna del quilo.



El timo se desarrolla a partir de células pertenecientes a la tercera bolsa faríngea, que se separan del epitelio y sufren numerosas divisiones mitóticas. A medida que la morfología del embrión se modifica, los lóbulos del timo se aproximan a la línea media del tórax. En el momento del nacimiento, el tamaño del timo es relativamente grande y ocupa una parte importante del mediastino anterior.



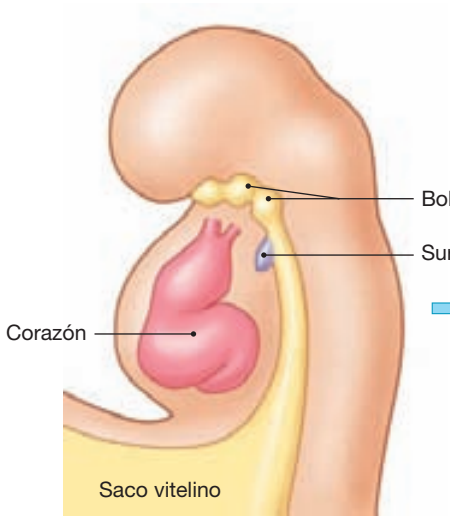
Conforme avanza el desarrollo, los sacos linfáticos aislados se fusionan y crean la gran vena linfática y el conducto linfático derecho. El crecimiento de las yemas de las extremidades continúa y los vasos linfáticos se extienden hacia ellas junto a los vasos sanguíneos en desarrollo.



Los vasos sanguíneos proliferan hacia las zonas de los sacos linfáticos en desarrollo en las que se acumulan linfocitos. Aparecen cápsulas de tejido conjuntivo y se va definiendo la organización interna del ganglio linfático.

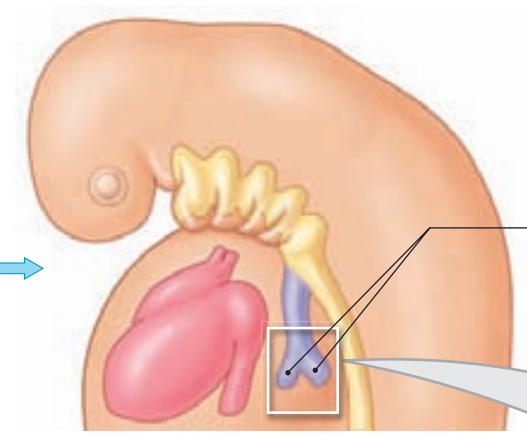
Desarrollo del aparato respiratorio, parte I

PULMONES



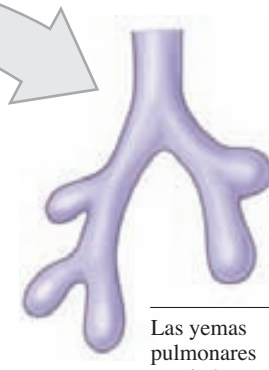
3 SEMANAS

En el suelo ventral medio de la faringe aparece un **surco pulmonar** poco profundo después de unas 3 semanas y media de desarrollo. De manera gradual se incrementa la profundidad de este surco, el cual se encuentra a un nivel próximo al del último arco faríngeo.

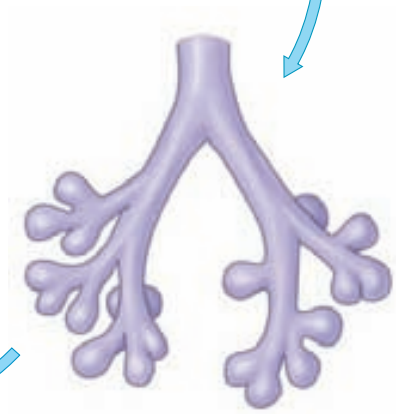


4 SEMANAS

En la semana cuarta, el surco se ha transformado en un bolsillo cerrado que se extiende en sentido caudal por delante del esófago. Este cilindro dará lugar a la tráquea. El tubo se ramifica en su extremo y da lugar a un par de **yemas pulmonares.**

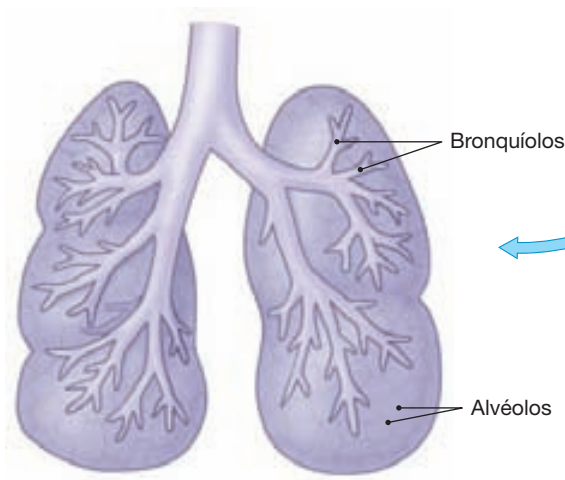


Las yemas pulmonares continúan creciendo y ramificándose.



3 MESES

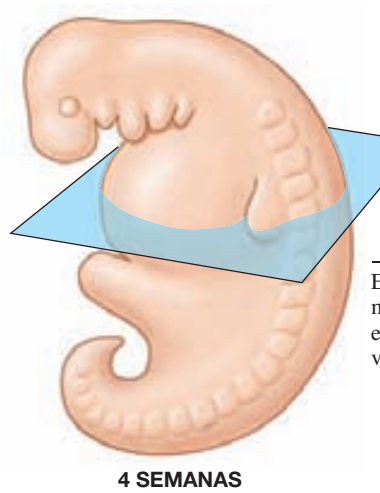
Al finalizar el sexto mes de desarrollo fetal, existe alrededor de un millón de ramificaciones terminales y se han formado ya los bronquíolos del sistema de tubos.



A lo largo del último trimestre, cada uno de los bronquíolos origina varios cientos de alvéolos. Su desarrollo continúa durante algún tiempo en el período neonatal.

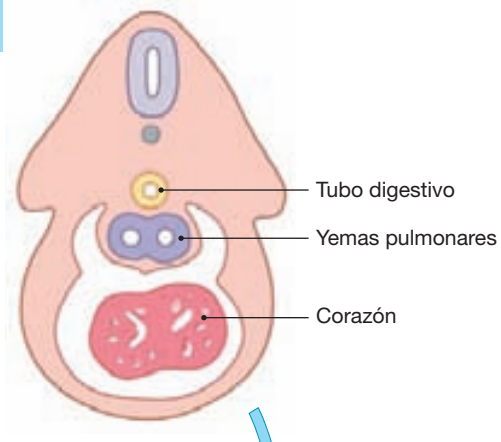
Desarrollo del aparato respiratorio, parte II

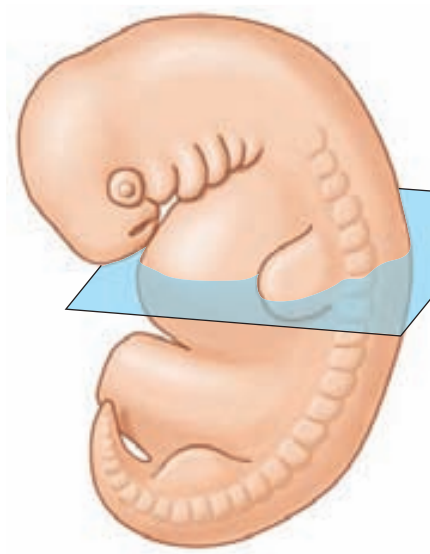
CAVIDADES PLEURALES



4 SEMANAS

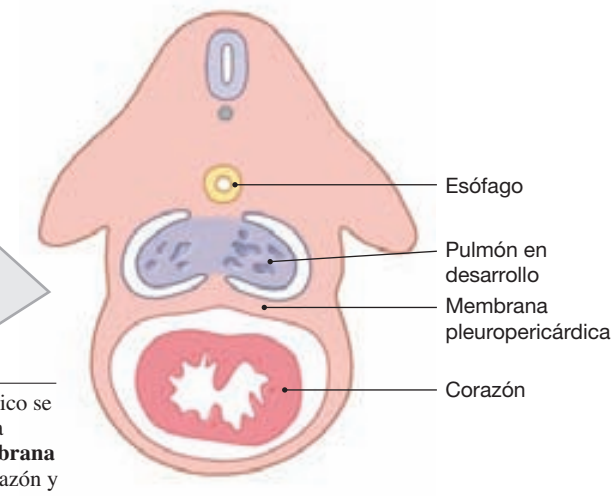
El tubo se desplaza hacia el mediastino a medida que se alarga y su ramificación extiende las yemas pulmonares en la cavidad ventral por detrás del corazón en desarrollo.

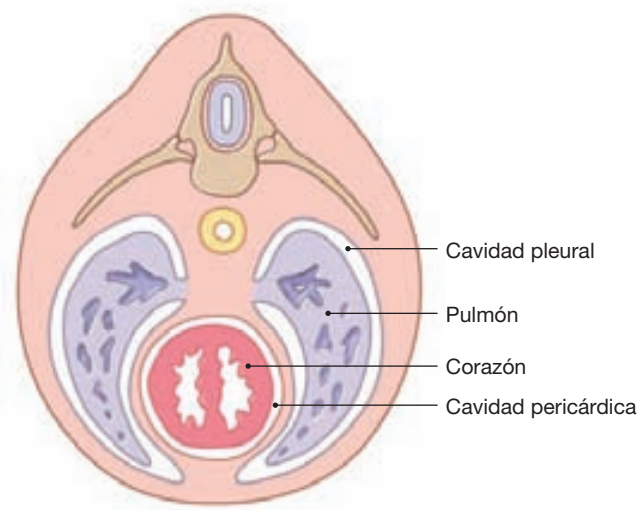




6 SEMANAS

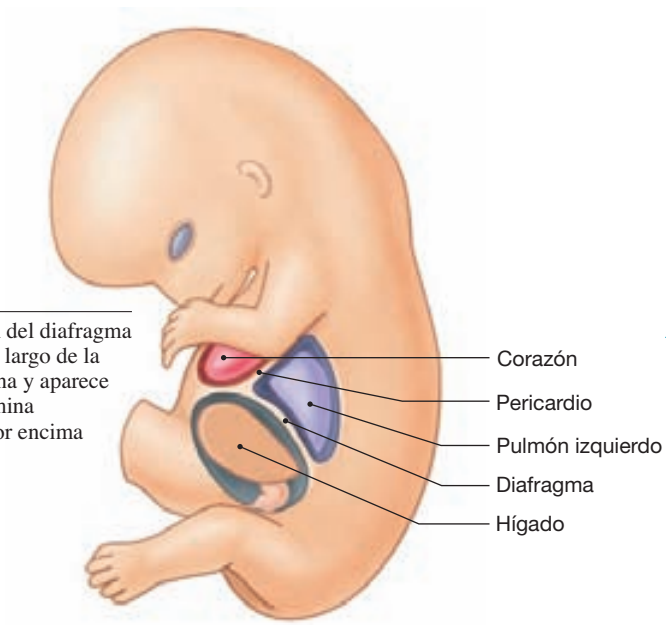
La formación del saco pericárdico se inicia en la semana sexta con la aparición de una delgada **membrana pleuropericárdica** entre el corazón y los pulmones en desarrollo.





8 SEMANAS

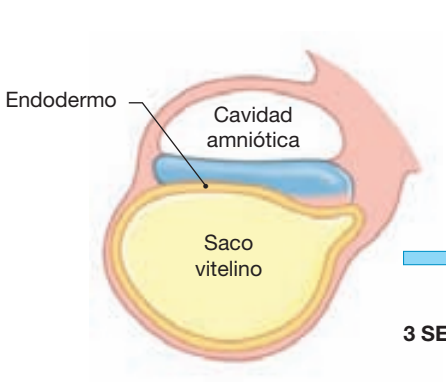
Hacia la octava semana, el desarrollo del saco pericárdico ha concluido y su cavidad se encuentra aislada del resto de la cavidad corporal ventral. A continuación, finaliza la formación del diafragma, que se une al saco pericárdico y los tejidos que integran el mediastino. Este fenómeno separa la cavidad abdominopélvica de las cavidades pleurales.



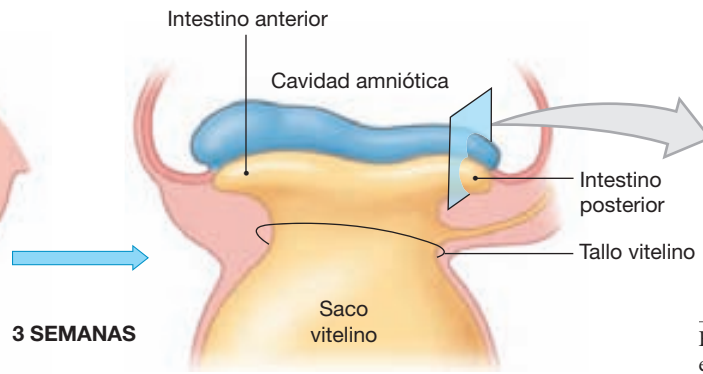
9 SEMANAS

La formación del diafragma concluye a lo largo de la novena semana y aparece como una lámina transversal por encima del hígado.

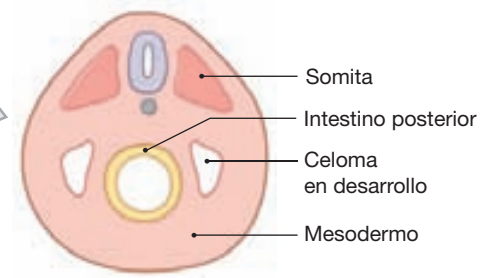
Desarrollo del aparato digestivo, parte I



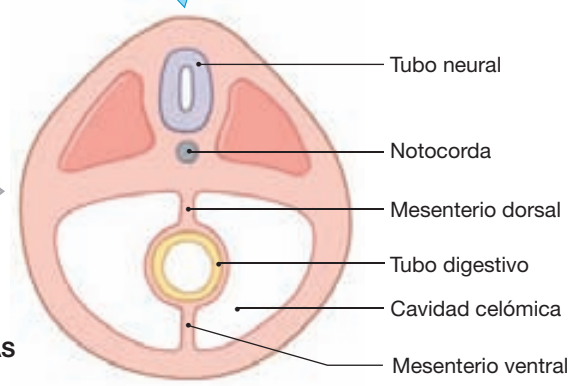
Al comienzo de la tercera semana, las células endodérmicas han migrado en la superficie interna del *blastocisto* para dar lugar a una cavidad conocida como **saco vitelino.**



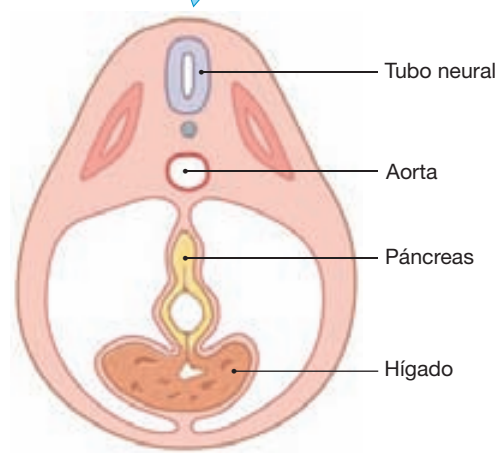
El desarrollo del embrión en el *escudo embrionario* da lugar a dos bolsillos endodérmicos: el **intestino anterior** y el **intestino posterior.** Estos bolsillos permanecen conectados con el saco vitelino a través del amplio **tallo vitelino.**



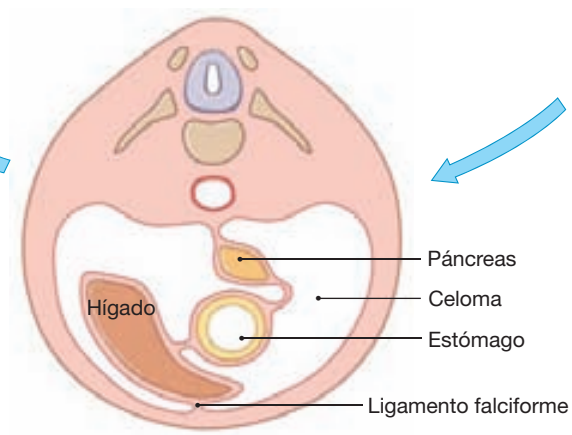
En un corte transversal, el intestino embrionario es un cilindro endodérmico sencillo rodeado de mesodermo. Las cavidades que irán apareciendo en el mesodermo crearán el *celoma* (cavidad corporal ventral).

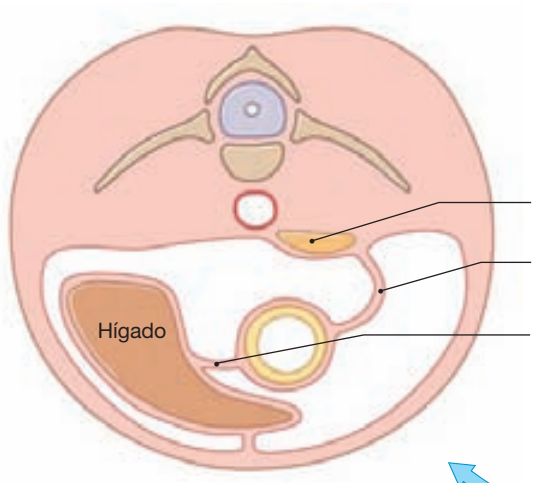


El tubo digestivo se suspende del celoma a través de un **mesenterio dorsal** y un **mesenterio ventral.** Este último desaparece casi en su totalidad, con excepción de aquellas porciones en las que contiene vasos grandes u órganos viscerales. Se conserva a lo largo del recorrido de las *arterias umbilicales* y en las zonas que circundan a la *vena umbilical* y el hígado.



El páncreas y el hígado comienzan a formarse a partir de unos bolsillos epiteliales que se separan del tubo digestivo hacia los mesenterios dorsal y ventral, respectivamente.

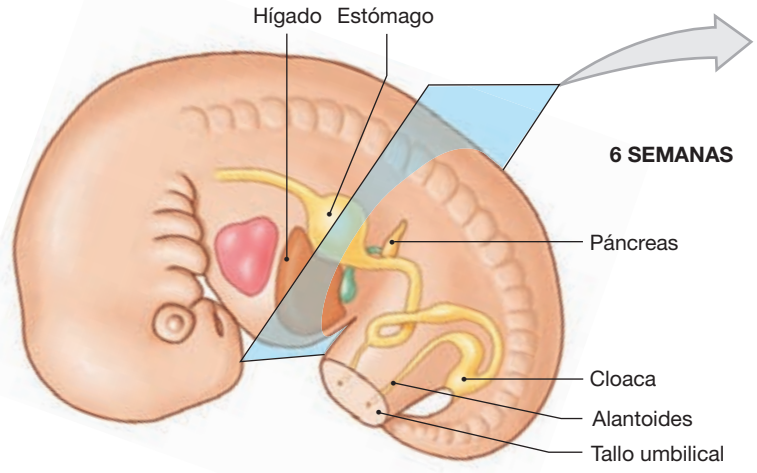




Conforme crece el embrión, el estómago y el hígado rotan hacia el lado derecho y dan lugar a dos bolsillos. Los mesenterios que forman estos bolsillos son el epiplón mayor y el epiplón menor.

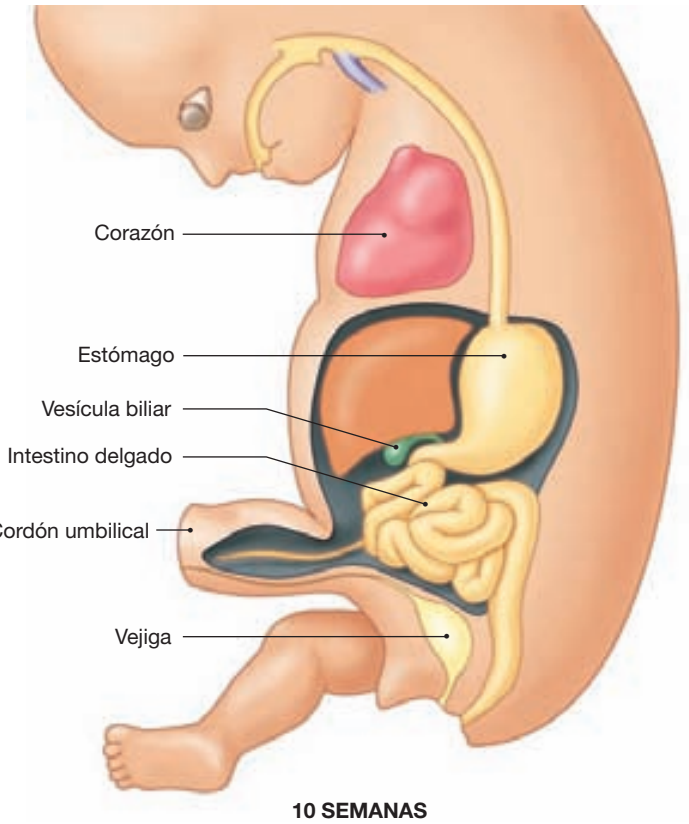
Desarrollo del aparato digestivo, parte II

Los intestinos comienzan a alargarse y sobresalen hacia el tallo umbilical como consecuencia de la regresión del mesenterio ventral. Se alargan y enroscan en mayor medida fuera del cuerpo del embrión.



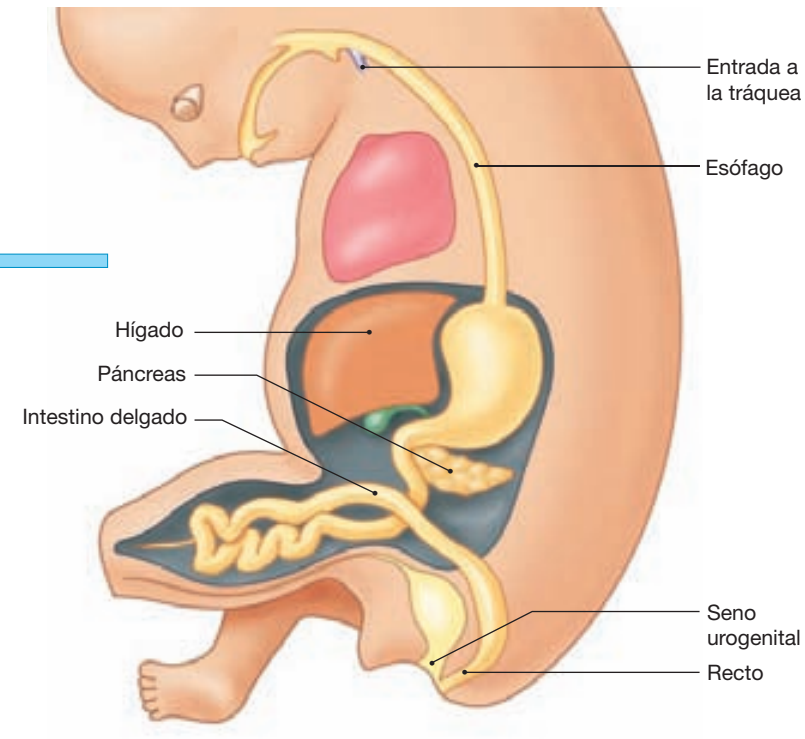
Véase sección transversal en la cuarta semana de la primera parte.

El intestino posterior se extiende hacia la porción caudal, en la que forma una cámara amplia conocida como **cloaca.** Una proyección cilíndrica de esta, el **alantoides** (*allantos,* salchicha), abandona el embrión y se dirige al **tallo de conexión.** La fusión del tallo vitelino con este creará el **tallo umbilical,** también conocido como *cordón umbilical.*



10 SEMANAS

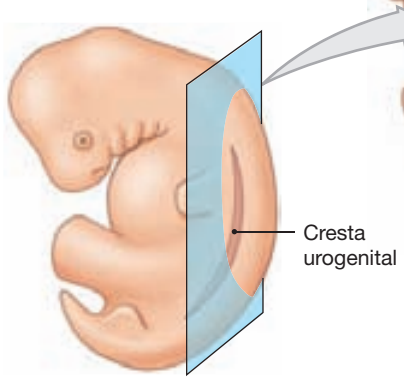
Para la décima semana los intestinos han empezado a desplazarse de vuelta a la cavidad abdominal, aunque siguen haciéndose más largos.



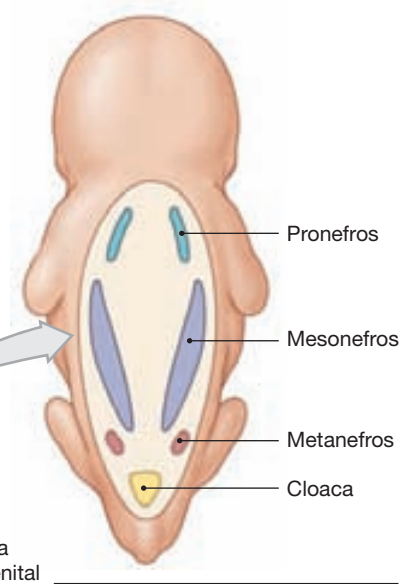
8 SEMANAS

Aparece un tabique que divide la cloaca en el recto posterior y un **seno urogenital** anterior que continúa vinculado con el alantoides.

Desarrollo del aparato urinario, parte I

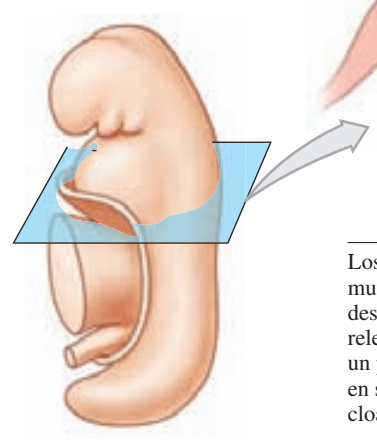


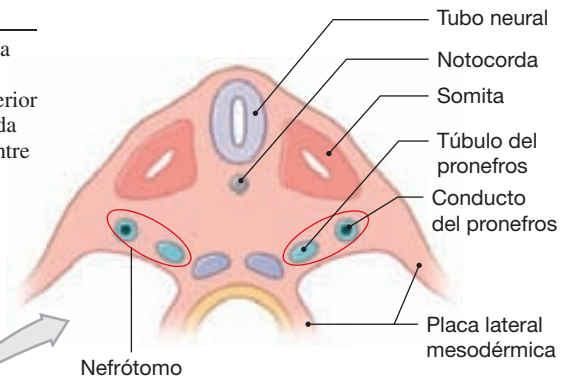
El desarrollo de los riñones tiene lugar a lo largo de varias etapas en el eje de la **cresta urogenital,** una zona engrosada situada por debajo de la pared dorsolateral de la cavidad celómica.



El desarrollo renal continúa a lo largo del eje craneocaudal de este reborde, de modo que primeramente se forma el **pronefros,** a continuación lo hace el **mesonefros** y, finalmente, aparece el **metanefros.**

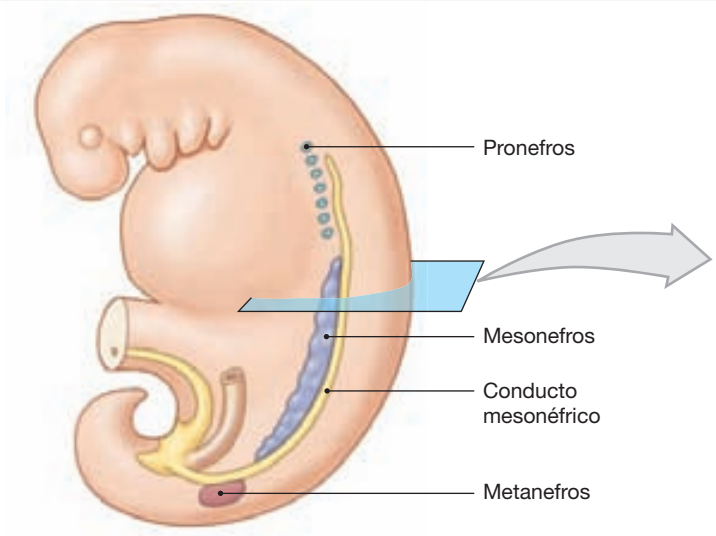
El pronefros se compone de una serie de túbulos (normalmente, 7 pares) que aparecen en el interior del **nefrótomo,** la delgada banda mesodérmica que se dispone entre los somitas y la placa lateral.





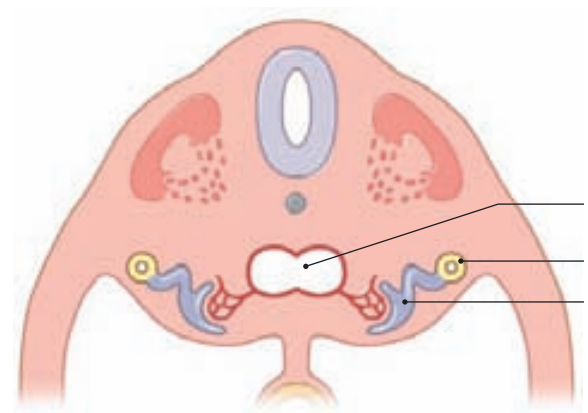
Los túbulos pronéfricos presentan un calibre muy pequeño y no son funcionales, y se desintegran de inmediato. La única aportación relevante del pronefros es la formación de un par de **conductos pronéfricos** que crecen en sentido caudal hasta conectarse con la cloaca.

3½ SEMANAS



El mesodermo nefrotómico del metanefros forma una densa masa exenta de organización interna que dará lugar al riñón adulto.

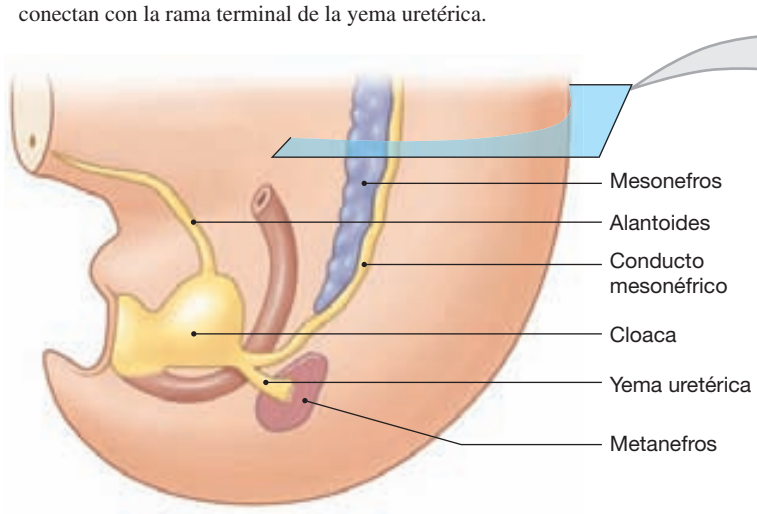
4 SEMANAS

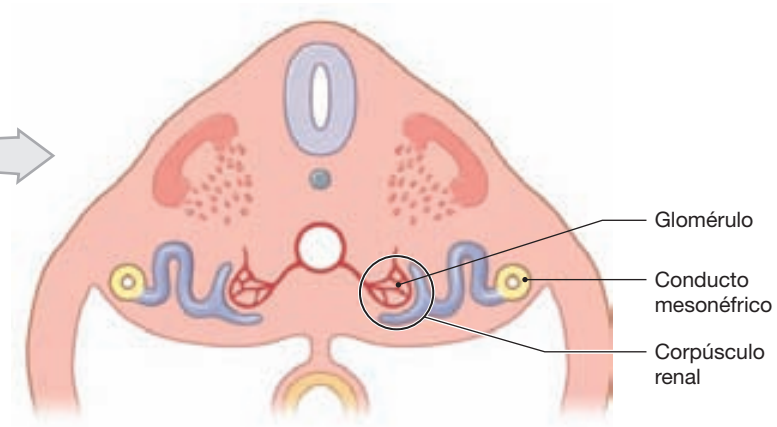


Alrededor de la cuarta semana de desarrollo, en la porción central del reborde urogenital el mesodermo comienza a organizarse en el mesonefros. A ambos lados de la línea media aparecen unos 70 túbulos en el interior de los segmentos así creados. Estos túbulos se extienden hacia el conducto pronéfrico adyacente para fusionarse con él. A partir de este momento, el conducto recibe el nombre de **conducto mesonéfrico.**

Desarrollo del aparato urinario, parte II

Se forma una **yema uretérica,** o *divertículo metanéfrico,* en la pared de cada uno de los conductos mesonéfricos, y este conducto sin luz se alarga y ramifica en el metanefros adyacente. Más adelante, los túbulos que crecen en el metanefros se conectan con la rama terminal de la yema uretérica.

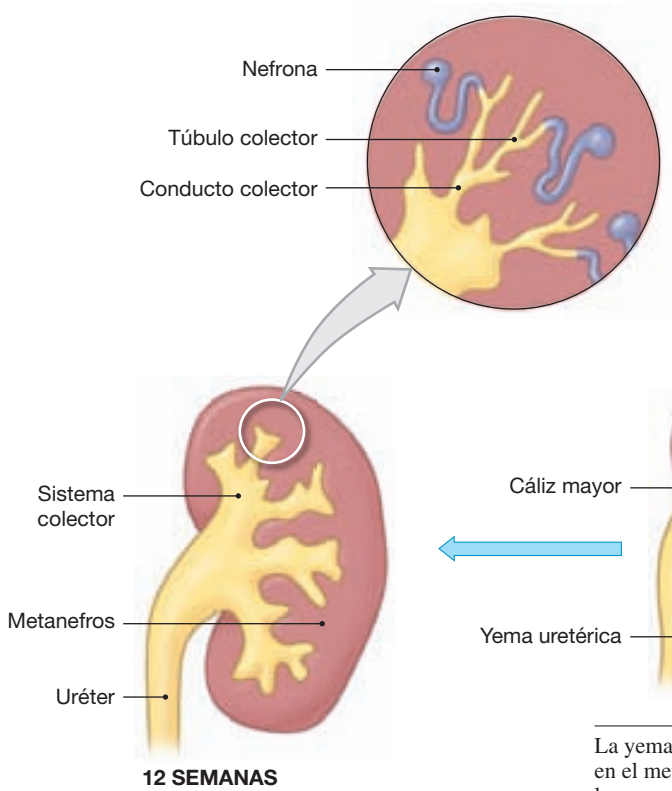




En cada segmento, una ramificación de la aorta se proyecta hacia el nefrotomo y los túbulos dan lugar a nefronas de gran tamaño con glomérulos enormes. Al igual que el pronefros, el mesonefros degenera, de modo que cuando se están formando sus últimos segmentos comienzan a desaparecer los primeros.

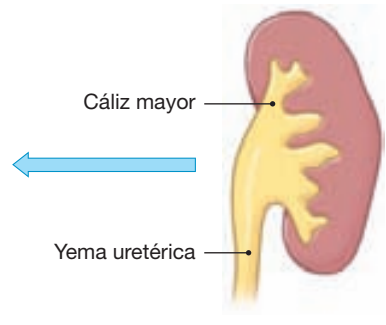
Gran parte de los desechos metabólicos del embrión en desarrollo atraviesan la placenta para pasar al torrente circulatorio materno. El reducido volumen de orina fabricada por los riñones embrionarios se acumula en la cloaca y el *alantoides,* una bolsa tapizada de endodermo que se extiende hacia el tallo umbilical.

6 SEMANAS

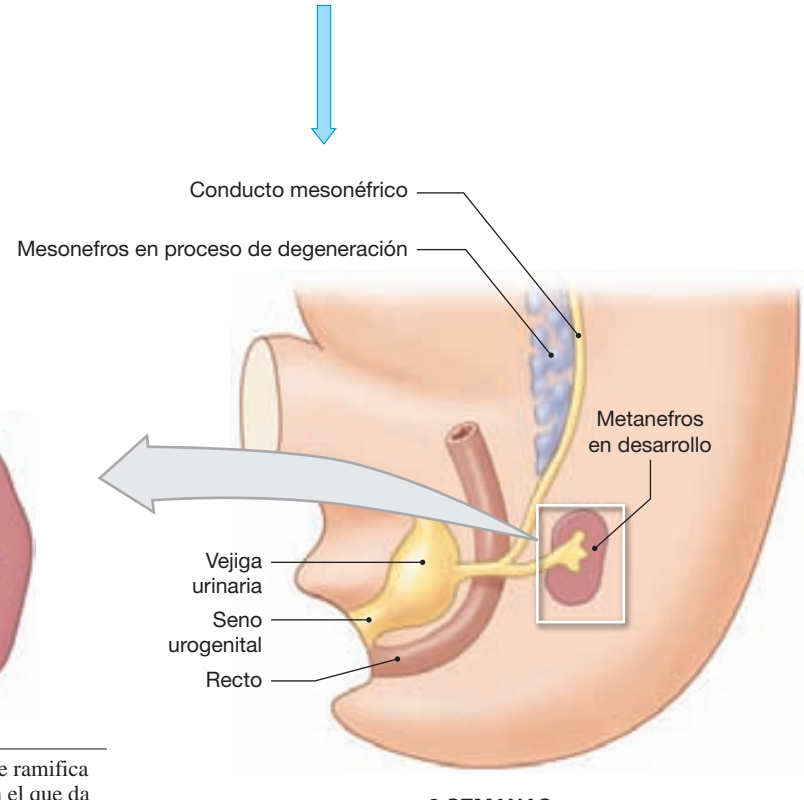


12 SEMANAS

A partir del tercer mes de desarrollo, los riñones adquieren la capacidad de filtración. El filtrado por ellos producido no contiene desechos, ya que se expulsan a través de la placenta para ser retirados y eliminados por los riñones maternos. El filtrado estéril se mezcla con el líquido amniótico y es ingerido por el feto y reabsorbido en la luz del tubo digestivo.



La yema uretérica se ramifica en el metanefros, en el que da lugar a cálices y el sistema colector. Las nefronas, que se desarrollan en el mesodermo del metanefros, se conectan con los túbulos colectores.



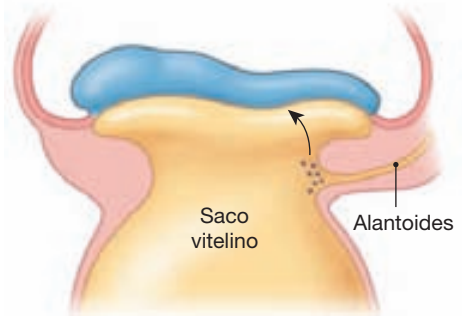
8 SEMANAS

Hacia el final del segundo mes de gestación, la cloaca se divide en un recto dorsal y un **seno urogenital** vitral. Las porciones proximales del alantoides se conservan en la **vejiga urinaria** y la conexión existente entre esta y un orificio localizado en la superficie corporal formará la **uretra.**

Desarrollo del aparato reproductor

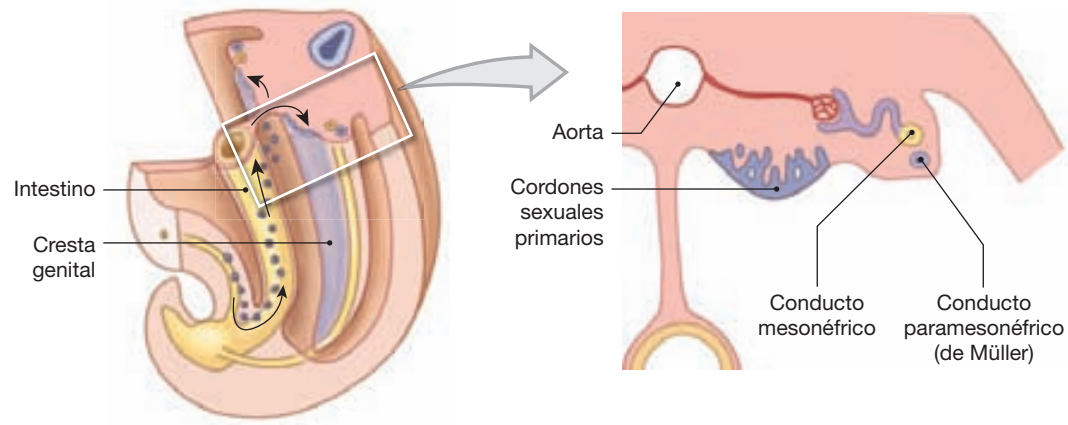
ESTADOS SIN DIFERENCIACIÓN SEXUAL (SEMANAS 3-6)

DESARROLLO DE LAS GÓNADAS



3 SEMANAS

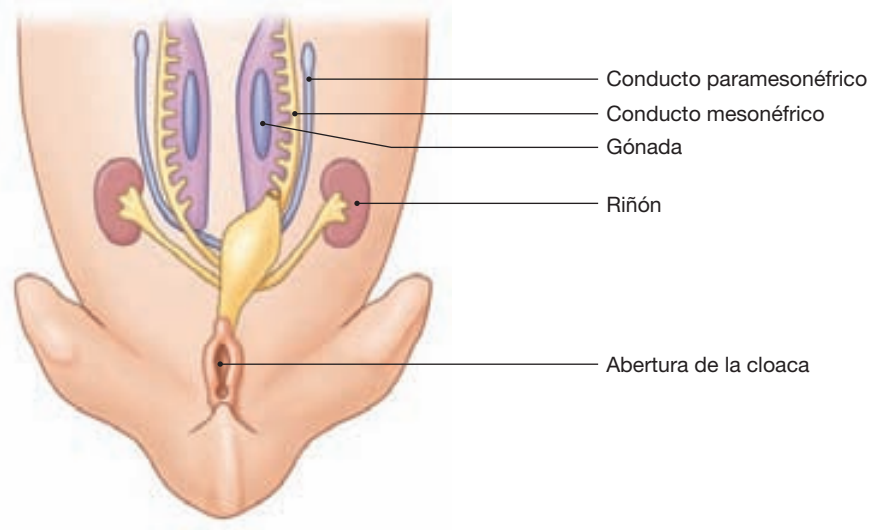
A lo largo de la tercera semana, las células endodérmicas migran desde la pared del saco vitelino en una zona próxima al alantoides hacia la pared dorsal de la cavidad abdominal. Estas células germinales primordiales pasan a los **rebordes genitales** que delimitan el mesonefros.



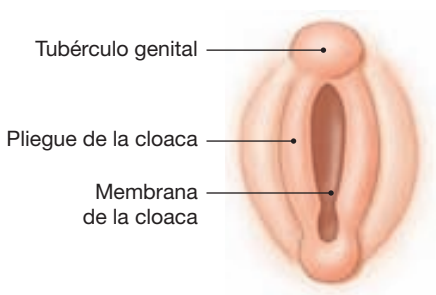
Cada reborde posee una gruesa capa de epitelio que se continúa con columnas celulares conocidas como **cordones sexuales primarios,** que se extienden hacia el centro (médula) del reborde. En posición anterior respecto a cada conducto mesonéfrico, aparece un conducto que no se conecta con los riñones. Se trata del **conducto paramesonéfrico** *(de Müller),* el cual parte de la cresta genital hacia la cloaca. En esta fase de ausencia de diferenciación sexual no se puede diferenciar el embrión masculino del femenino.

DESARROLLO DE CONDUCTOS Y ÓRGANOS ACCESORIOS

Los embriones de ambos sexos poseen conductos mesonéfricos y paramesonéfricos en este estadio. En ausencia de exposición a andrógenos, el embrión (de manera independiente del sexo genético) dará lugar a un organismo femenino. En un embrión masculino normal, las células del núcleo (médula) de la cresta genital comienzan a sintetizar testosterona a partir de la sexta semana. Esta hormona induce cambios en el sistema de conductos y los genitales externos que se describirán en la página siguiente.

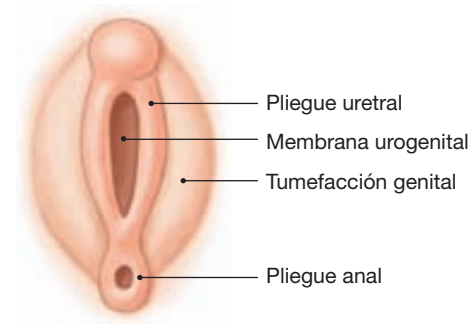


DESARROLLO DE LOS GENITALES EXTERNOS



4 SEMANAS

Después de 4 semanas de desarrollo, aparecen unas tumefacciones mesenquimatosas denominadas **pliegues de la cloaca** alrededor de la **membrana de la cloaca** (la cloaca no desemboca en el exterior). El **tubérculo genital** dará lugar al glande del pene en el hombre y el clítoris en la mujer.



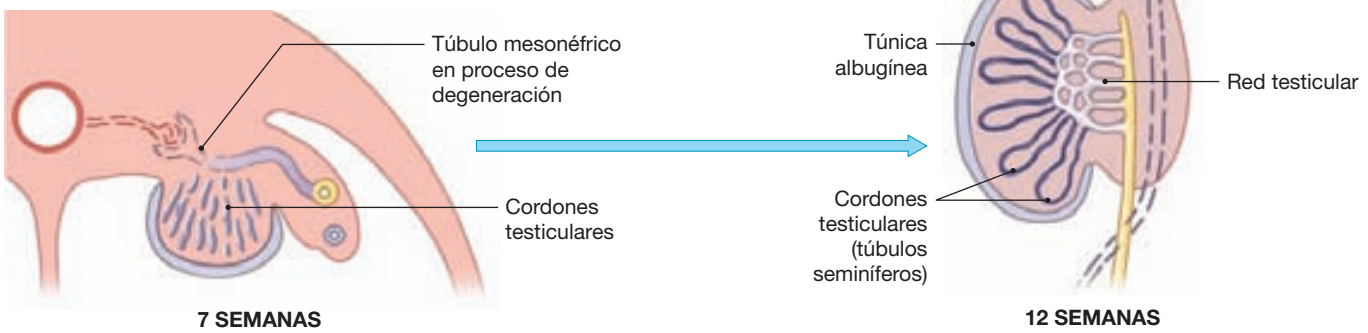
6 SEMANAS

Dos semanas más tarde, la cloaca se ha dividido separando la membrana en una *membrana anal* posterior unida por *pliegues anales* y una **membrana urogenital** anterior rodeada de **pliegues uretrales.** Se forma una **tumefacción genital** prominente junto a cada uno de estos pliegues.

Desarrollo del aparato reproductor

DESARROLLO DEL APARATO REPRODUCTOR MASCULINO

DESARROLLO DE LOS TESTÍCULOS



7 SEMANAS

En el hombre, los cordones sexuales primarios proliferan y las células germinales se dirigen hacia ellos. Se forman así **cordones testiculares** que darán lugar a los túbulos seminíferos.

12 SEMANAS

Los cordones testiculares curvados se conectan con las nefronas mesonéfricas adyacentes. Aunque estas nefronas terminan por desaparecer, los túbulos seminíferos se mantendrán unidos al conducto mesonéfrico.

DESARROLLO DE LOS CONDUCTOS MASCULINOS Y LOS ÓRGANOS ACCESORIOS

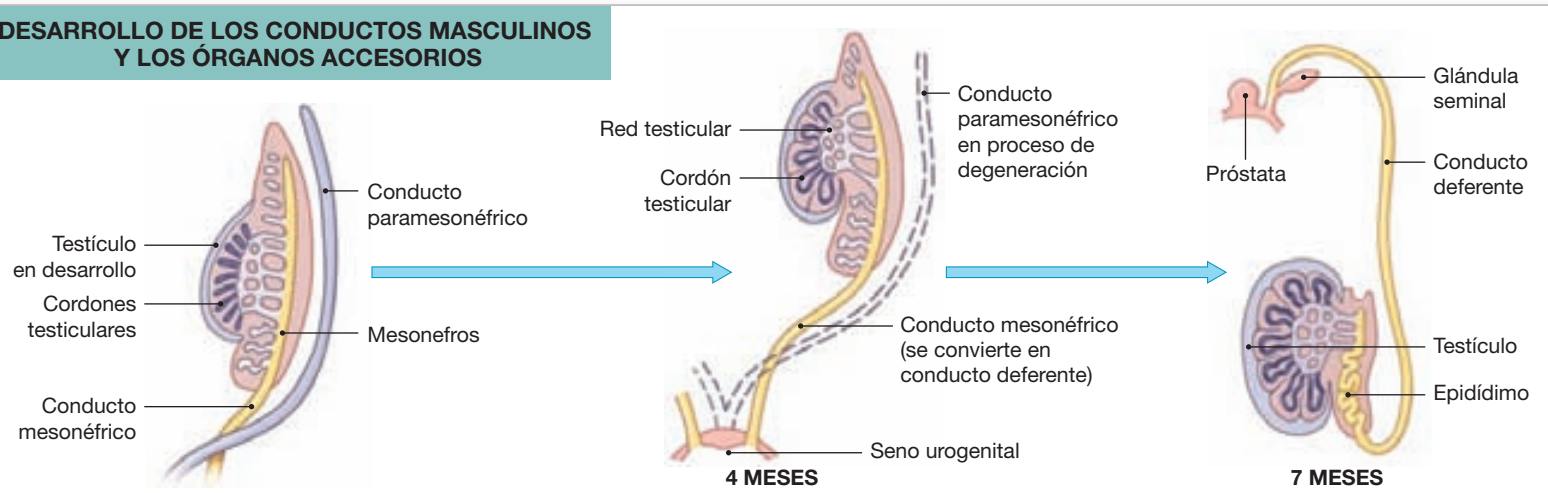


Imagen del testículo y los conductos del lado izquierdo en una sección frontal. Obsérvese el emplazamiento y la orientación del mesonefros con relación al testículo en desarrollo.

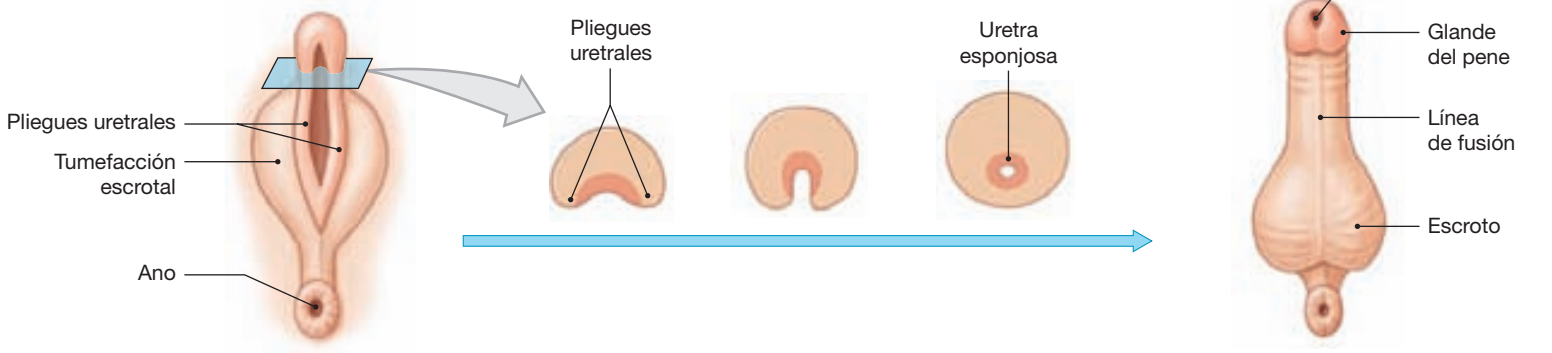
4 MESES

Después de 4 meses de desarrollo, los cordones testiculares se conectan con los restos de los túbulos mesonéfricos a través de la red testicular. El conducto paramesonéfrico (de Müller) ha desaparecido.

7 MESES

Organización final tras el descenso del testículo hacia el escroto *(v. figura 27.2, p. 717)*. Obsérvense las relaciones existentes entre los órganos sexuales definitivos y las estructuras embrionarias.

DESARROLLO DE LOS GENITALES EXTERNOS MASCULINOS



10 SEMANAS

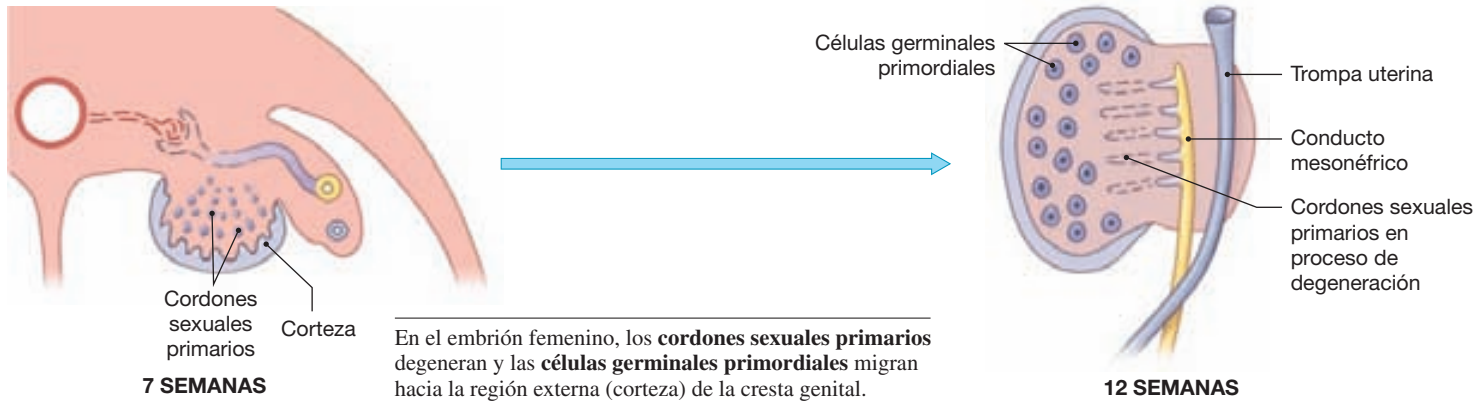
Tras 10 semanas de desarrollo, el **tubérculo genital** aumenta de tamaño, los extremos de los pliegues uretrales se acercan para crear la uretra esponjosa (v. imágenes seccionales) y se forma un par de **tumefacciones escrotales** a partir de las tumefacciones genitales.

NACIMIENTO

En el neonato de sexo masculino se puede apreciar claramente la línea de fusión de los pliegues uretrales.

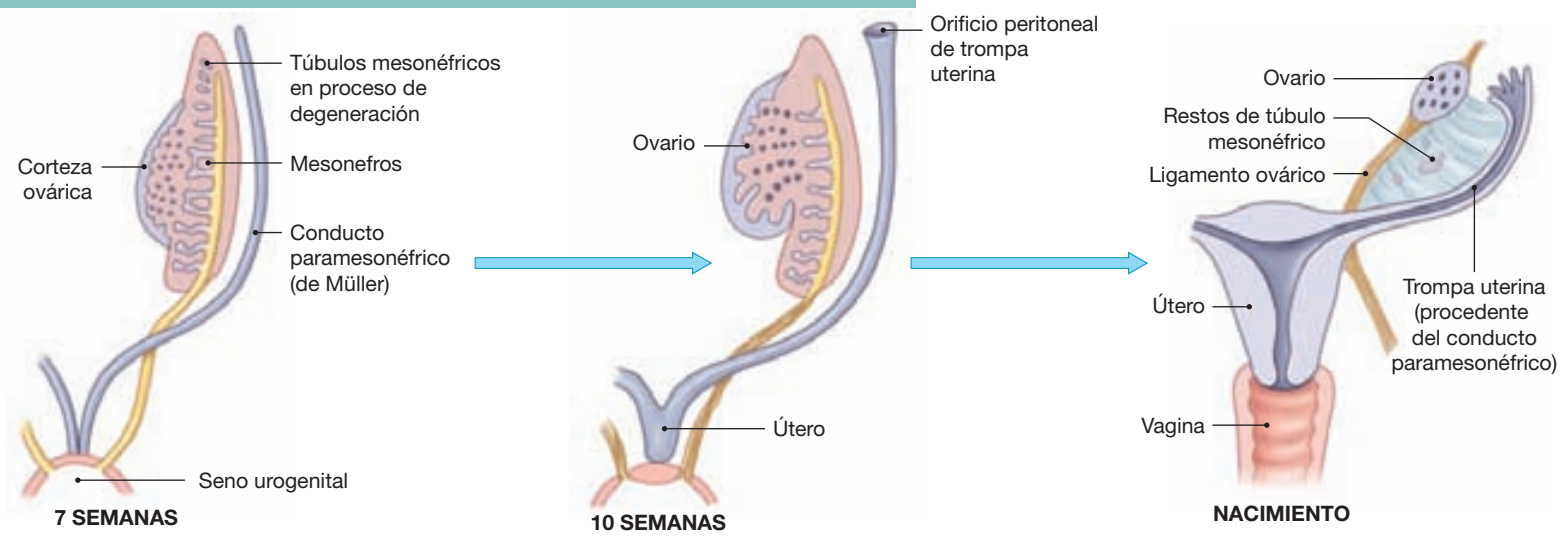
DESARROLLO DEL APARATO REPRODUCTOR FEMENINO

DESARROLLO DE LOS OVARIOS



En el embrión femenino, los **cordones sexuales primarios** degeneran y las **células germinales primordiales** migran hacia la región externa (corteza) de la cresta genital.

DESARROLLO DE LOS CONDUCTOS FEMENINOS Y ÓRGANOS ACCESORIOS

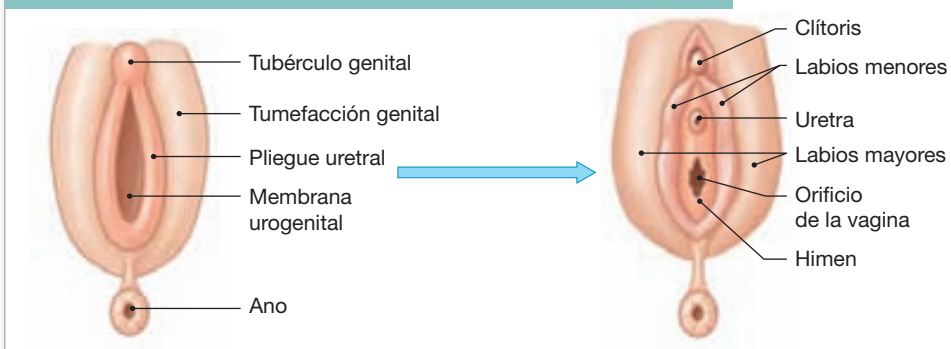


El conducto y los túbulos mesonéfricos desaparecen; el conducto paramesonéfrico (de Müller) adquiere un orificio amplio hacia la cavidad peritoneal. Obsérvese la fusión de los conductos y la separación de la cámara común, que formará el útero, respecto al seno urogenital.

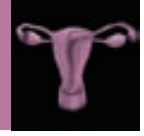
COMPARACIÓN DE LOS GENITALES EXTERNOS MASCULINOS Y FEMENINOS

Hombres	Mujeres
Pene	Clítoris
Cuerpo cavernoso	Tejido eréctil
Cuerpo esponjoso	Bulbos vestibulares
Eje proximal del pene	Labios menores
Uretra esponjosa	Vestíbulo
Glándulas bulbouretrales	Glándulas vestibulares mayores
Escroto	Labios mayores

DESARROLLO DE LOS GENITALES EXTERNOS FEMENINOS



En las mujeres, los pliegues uretrales no se unen; se desarrollan como labios menores. Las tumefacciones genitales forman los labios mayores. El tubérculo genital conforma el clítoris. La uretra se abre hacia el exterior inmediatamente posterior al clítoris. El himen permanece como un producto de la membrana urogenital.



TÉRMINOS CLÍNICOS

amniocentesis: Análisis de células fetales obtenidas a partir de una muestra de líquido amniótico.

biopsia de las vellosidades coriónicas: Análisis de células de las vellosidades coriónicas realizado durante el primer trimestre.

desprendimiento de placenta: Rotura de la placenta después del quinto mes de embarazo.

embarazo ectópico: Embarazo en el que la implantación se produce en una localización diferente del útero.

fetopatía alcohólica (FA): Trastorno neonatal provocado por el consumo materno de alcohol durante la gestación; se distingue por anomalías congénitas que suelen afectar a los sistemas esquelético, nervioso y/o cardiovascular.

malformación congénita: Anomalía estructural grave, presente en el nacimiento, que afecta a sistemas orgánicos importantes.

parto de nalgas: Parto en el que las piernas o las nalgas del feto penetran en primer lugar en el canal vaginal.

placenta previa: Trastorno debido a la implantación en el cuello uterino o un lugar cercano al mismo.

placenta previa total: Variación de la placenta previa en la que la placenta se extiende a través del orificio interno del cuello.

preeclampsia: Desarrollo de hipertensión con edema o proteinuria (presencia de proteínas en la orina) asociada al embarazo en curso o a un embarazo reciente.

puntuación de Apgar: Método de evaluación de los neonatos; permite valorar problemas de desarrollo o lesiones neurológicas.

teratógenos: Estímulos que trastocan el proceso normal de desarrollo mediante daños en las células, la alteración de la estructura cromosómica, o la modificación del entorno químico del embrión.

RESUMEN DE ESTUDIO

Introducción 748

1. El término **desarrollo** se refiere a la modificación paulatina de las características físicas y fisiológicas desde el momento de la concepción hasta la adquisición de la madurez. La creación de distintos tipos celulares durante el desarrollo recibe el nombre de **diferenciación**.

Introducción al desarrollo 748

1. El **desarrollo** comienza en la **concepción** (fecundación) y se divide en desarrollo **prenatal** (antes del nacimiento) y desarrollo **posnatal** (desde el nacimiento hasta la madurez).

Fecundación 748

1. La fecundación suele tener lugar en la ampolla de la trompa uterina a lo largo del día siguiente a la ovulación. Los espermatozoides son incapaces de fecundar al ovocito en tanto en cuanto no se sometan al proceso de *capacitación*. La eyaculación introduce unos 200 millones de espermatozoides en la vagina, aunque tan sólo 100 de ellos accederán a la ampolla. Un hombre con menos de 20 millones de espermatozoides por mililitro se considera **estéril** desde el punto de vista funcional.

El ovocito en la ovulación 748

2. Los acrosomas de los espermatozoides liberan **hialuronidasa,** una enzima que separa las células de la corona radiada y deja en exposición la membrana ovocítica. La fecundación se produce cuando un espermatozoide se pone en contacto con dicha membrana y acontece la **activación del ovocito** *(v. figura 28.1)*.

Formación de pronúcleos y anfimixis 748

3. Durante su activación, la meiosis finaliza en el ovocito secundario. A continuación, el **pronúcleo femenino** se fusiona con el **pronúcleo masculino** en un proceso conocido como **anfimixis** *(v. figura 28.1)*.

Desarrollo prenatal 749

1. El período de **gestación** de 9 meses se puede dividir en tres **trimestres**, cuya duración es de **3 meses**.

Primer trimestre 750

2. El **primer trimestre** constituye el período clave de la existencia prenatal. El citoplasma del cigoto se divide a través de divisiones mitóticas durante el proceso de segmentación y se convierte en un **blastocisto.** En la **implantación**, esta estructura se entierra en el endometrio uterino. La formación de vasos sanguíneos alrededor del blastocito y el desarrollo de la **placenta** tienen lugar en la fase de **placentación**. La **embriogenia** consiste en la formación de un embrión viable.
3. El blastocisto se compone de un **trofoblasto** externo y una **masa celular interna,** que se localiza en un extremo junto a una cavidad hueca (el **blastocele**) *(v. figura 28.2 y tabla 28.1)*.
4. Cuando el blastocisto se adhiere al revestimiento uterino, el trofoblasto próximo al endometrio se transforma en el **sincitiotrofoblasto,** el cual erosiona el endometrio para introducirse en él. La sangre materna fluye a través de canales trofoblásticos, o **lagunas,** a medida que el trofoblasto se hipertrofia y extiende. El blastocisto se organiza en capas y se convierte en el **blastodisco.** Tras la **gastrulación,** esta estructura contiene un embrión formado por **endodermo, ectodermo** y **mesodermo** entre las dos primeras capas. Estas **capas germinales** dan lugar a cuatro **membranas extraembrionarias:** el saco vitelino, el amnios, el alantoides y el corion *(v. figuras 28.3 a 28.5 y tabla 28.1)*.
5. El **saco vitelino** es una estructura relevante en la que se forman células sanguíneas. El **amnios** contiene un líquido que rodea y protege al embrión en desarrollo. La base del **alantoides** dará lugar a la vejiga urinaria en una fase posterior. La circulación en los vasos sanguíneos del **corion** representa un sistema de transporte rápido que vincula al embrión con el trofoblasto *(v. figuras 28.4/28.5)*.
6. Las **vellosidades coriónicas** se proyectan hacia los tejidos maternos y conforman una compleja red con ramificaciones a través de la cual fluye la sangre de la madre. El **tallo de conexión** y el **tallo vitelino** conectan al embrión con el corion y el saco vitelino, respectivamente. Más adelante, el **cordón umbilical** se encargará de relacionar el feto con la placenta. La irrigación tiene lugar a través de las arterias umbilicales y la vena umbilical y el intercambio se produce en las vellosidades coriónicas. La placenta fabrica HCG, estrógenos, progestinas, HPL y relaxina *(v. figuras 28.5/28.6)*.
7. El **embrión,** que posee un **pliegue cefálico** y un **pliegue caudal,** sufre varios cambios de gran relevancia a lo largo del primer trimestre. Los acontecimientos que suceden durante estas 12 semanas son la base de la **organogenia** (formación de órganos) posterior *(v. figuras 28.5b,c/28.7 y tabla 28.2)*.
8. La organogenia de los sistemas orgánicos se pone en marcha durante el primer trimestre y el desarrollo de sistemas orgánicos fetales funcionales concluye al final del tercero *(v. tabla 28.2 y resúmenes de embriología)*.

Segundo y tercer trimestres 757

9. A lo largo del **segundo trimestre,** los sistemas orgánicos se desarrollan hasta casi ser funcionales y el feto crece con gran rapidez. En el **tercer trimestre,** los síntomas orgánicos se tornan funcionales y el aumento del peso fetal es el más importante de la gestación *(v. figuras 28.7 a 28.9, tabla 28.2 y resúmenes de embriología)*.
10. Hacia el final de la gestación, el útero presentará un tamaño de 30 cm y contendrá casi 5 L de líquido *(v. figura 28.9)*.

Parto y alumbramiento 760

1. La finalidad del *parto verdadero* es el **nacimiento,** la expulsión forzada del feto.

Evolución del parto 760

2. El parto se divide en tres fases: **fase de dilatación, fase de expulsión,** y **fase de expulsión de la placenta.** La fase de dilatación, en la que se dilata el cuello ute-

rino, suele durar ocho o más horas. La fase de expulsión da lugar al nacimiento (parto) del feto. La placenta sale durante la fase de expulsión de la placenta *(v. figura 28.10)*.

Parto prematuro 762

3. El **parto prematuro** tiene lugar antes de la finalización del desarrollo fetal. Un **parto prematuro** produce un neonato con un peso mayor de 1 kg, que puede o no sobrevivir.

Período neonatal 763

1. El **período neonatal** comprende desde el nacimiento hasta transcurrido 1 mes del mismo.
2. En el período de transición del estado de feto al de **neonato**, se producen cambios acusados en los aparatos respiratorio, circulatorio, digestivo y urinario, que comienzan a funcionar de manera independiente. De igual modo, el neonato debe comenzar a controlar su propia temperatura corporal.

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

Para consultar las respuestas a las preguntas de «Verificación de conceptos» y las de «Revisión del capítulo», véase «Respuestas» al final del libro.

Nivel 1 Revisión de datos y términos

Relacione los elementos de las columnas A y B. Coloque cada letra en su espacio correspondiente.

Columna A	Columna B
___ 1. corona radiada	a. comienza con el inicio del parto verdadero
___ 2. hialuronidasa	b. comienza tras la dilatación completa del cuello uterino
___ 3. segundo trimestre	c. nacimiento
___ 4. fase de expulsión	d. se distingue por el crecimiento fetal rápido
___ 5. ovoplasma	e. incisión practicada en la musculatura perineal
___ 6. tercer trimestre	f. capa de células foliculares que rodea al ovocito
___ 7. primer trimestre	g. enzima presente en la cápsula acrosómica
___ 8. parto	h. citoplasma del ovocito
___ 9. fase de dilatación	i. período de desarrollo embrionario/fetal
___ 10. episiotomía	j. caracterizado por el desarrollo continuo de los sistemas orgánicos

11. Normalmente, el óvulo se fecunda en:
    (a) el útero
    (b) la ampolla de la trompa uterina
    (c) el cuello uterino
    (d) la vagina

12. Durante la anfimixis:
    (a) se capacita el esperma
    (b) finaliza la meiosis II en el óvulo
    (c) se fusionan los pronúcleos femenino y masculino
    (d) tiene lugar la meiosis

13. Durante el primer trimestre del desarrollo:
    (a) los pulmones fetales comienzan a procesar aire
    (b) comienzan a formarse los rudimentos de los principales sistemas orgánicos
    (c) finaliza el desarrollo de los órganos y los sistemas orgánicos
    (d) el desarrollo fetal alcanza su velocidad máxima

14. El proceso de división celular que tiene lugar tras la fecundación se denomina:
    (a) segmentación (b) implantación
    (c) placentación (d) embriogenia

15. Un blastocisto es:
    (a) una membrana embrionaria que forma vasos sanguíneos
    (b) una masa sólida de células
    (c) una masa hueca de células
    (d) una parte de la placenta

16. A lo largo del segundo trimestre, el suceso más importante que permite que la madre se dé cuenta de que porta un organismo vivo en su cuerpo es:
    (a) el crecimiento notable del encéfalo fetal
    (b) la aparición de movimientos fetales dentro del útero
    (c) la formación de las estructuras básicas del ojo y el oído
    (d) la formación de las articulaciones

17. La hormona en la que se basa la prueba del embarazo es:
    (a) LH
    (b) progesterona
    (c) gonadotropina coriónica humana (HCG)
    (d) lactógeno placentario humano (HPL)

18. La primera fase del parto recibe el nombre de fase _____.
    (a) de dilatación
    (b) de expulsión
    (c) de expulsión de la placenta
    (d) decidual

19. La membrana extraembrionaria que dará lugar a la vejiga urinaria es:
    (a) el saco vitelino
    (b) el alantoides
    (c) el amnios
    (d) el corion

20. Durante la implantación,
    (a) el sincitiotrofoblasto erosiona el endometrio para enterrarse en él
    (b) la masa de células internas comienza a formar la placenta
    (c) los vasos sanguíneos maternos del endometrio se separan del blastocisto
    (d) el trofoblasto se transforma en un sincitiotrofoblasto

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. ¿Cuál sería el destino de un embrión si el desarrollo del corion no fuera normal?
    (a) se formaría un número insuficiente de células sanguíneas y el lactante necesitaría una transfusión inmediatamente después de nacer
    (b) la anomalía no tendría ningún efecto; el alantoides asumiría las funciones del corion
    (c) no existiría un almohadón protector formado por líquido alrededor del embrión, que podría sufrir daños en el útero
    (d) el embrión no podría recibir cantidades suficientes de nutrientes ni oxígeno y el embarazo se interrumpiría de manera espontánea

2. ¿Qué consecuencias tendría la existencia de una conexión directa entre la irrigación de las vellosidades coriónicas y la decidua basal de la placenta?
    (a) desarrollo normal, ya que es un hallazgo normal
    (b) posible reacción por incompatibilidad que podría ocasionar daños o la muerte del feto
    (c) se retrasaría el desarrollo fetal
    (d) el feto crecería más deprisa de lo habitual

3. ¿En qué caso cabría esperar que dos fetos en desarrollo compartieran un corion y una placenta, pero se encontraran en dos sacos amnióticos independientes?
    (a) si fueran gemelos fraternos
    (b) si presentaran malformaciones congénitas graves
    (c) si fueran gemelos monovitelinos
    (d) si fueran diferentes desde el punto de vista genético

4. ¿Qué es la segmentación y en qué trimestre tiene lugar?

5. ¿Qué es la estría primitiva?

6. Describa los efectos de la gonadotropina coriónica humana. ¿Cuándo y dónde se sintetiza?

7. ¿Qué sucede durante la anfimixis?

8. ¿Qué membrana extraembrionaria es importante para la formación de las células sanguíneas?

9. Describa el proceso de organogenia.

10. ¿Por qué constituye un período clave el primer trimestre?

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Joe y Jane sienten un enorme deseo de tener niños y no han tenido éxito aunque lo han intentado durante 2 años. Finalmente, cada uno de ellos acude a un médico y descubren que Joe presenta oligoespermia (recuento espermático bajo). Le confía que no comprende por qué influiría en su capacidad de tener hijos, ya que recuerda de las clases de biología que tan sólo hace falta un espermatozoide para fecundar a un óvulo. ¿Qué le diría?

2. Desde hace tiempo se sabe que el virus que produce la rubéola es un potente teratógeno. ¿En qué trimestre sería más peligrosa para una embarazada la exposición a este patógeno? ¿Por qué motivo?

Respuestas a las preguntas de verificación de conceptos y de revisión del capítulo

CAPÍTULO 1

Verificación de conceptos

p. 4 1. Un histólogo investiga la estructura y las propiedades de los tejidos.

p. 4 2. Un anatomopatólogo macroscópico investiga los sistemas orgánicos y sus relaciones con el cuerpo como un todo.

p. 4 3. La anatomía regional contempla todos los rasgos superficiales e internos de una zona corporal específica, como la cabeza, el cuello o el tronco. La anatomía general o sistémica analiza la estructura de los principales sistemas orgánicos, como el óseo o el muscular.

p. 13 1. El sistema tegumentario.

p. 13 2. El aparato reproductor femenino.

p. 13 3. La aparición gradual de especializaciones celulares características durante el desarrollo, a raíz de la activación o represión génica.

p. 18 1. Los dos ojos estarían separados por una sección mediosagital.

p. 18 2. La caída afectaría al antebrazo.

p. 18 3. Ingle = *inguen,* nalgas = *gluteus* y mano = *manus.*

p. 20 1. Los mesenterios son unas hojas serosas dobles en la cavidad peritoneal, que proporcionan sostén y estabilidad a los órganos (estómago, intestino delgado y parte del intestino grueso), a la vez que permiten un movimiento limitado.

p. 20 2. La cavidad corporal que ocupa una posición inferior al diafragma es la cavidad abdominopélvica.

p. 20 3. (a) Distales, (b) inferiores.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. F	**2.** E	**3.** G	**4.** H
5. B	**6.** D	**7.** C	**8.** A
9. C	**10.** D	**11.** B	**12.** C
13. D	**14.** B	**15.** B	

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. A

2. Todos los organismos vivos presentan las mismas funciones básicas: reactividad, crecimiento y diferenciación, reproducción, movimiento, metabolismo y excreción.

3. La mano queda distal al brazo en la extremidad superior.

4. B

5. B

6. En los organismos grandes dotados de unos sistemas orgánicos especializados que ejecutan las funciones de absorción, respiración y excreción en regiones diferentes del cuerpo, debe haber un medio de transporte interno para estos productos. Los procesos pasivos, como la difusión y la ósmosis, serían muy lentos para permitirles funcionar y permanecer vivos.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. La perturbación de los procesos de división celular en la médula ósea desembocará en la presencia de un número de glóbulos rojos demasiado bajo (anemia) o demasiado alto (policitemia) dentro de los vasos del aparato cardiovascular. La anemia afectará a la cantidad de oxígeno transportada hacia los tejidos periféricos, lo que repercute sobre el metabolismo en sentido general. La policitemia producirá una alteración del metabolismo periférico debido al «atasco» producido en los vasos sanguíneos, al haber un número de células más alto que trata de pasar por los capilares periféricos.

2. Los sistemas corporales afectados serían los aparatos digestivo y respiratorio y el sistema óseo. Las especialidades anatómicas implicadas son la anatomía de superficie, los estudios dedicados a la anatomía regional, la anatomía general, la anatomía comparada y la anatomía del desarrollo.

CAPÍTULO 2

Verificación de conceptos

p. 35 1. Las membranas plasmáticas tienen una permeabilidad selectiva.

p. 35 2. Difusión es un término general que designa el movimiento pasivo de sustancias desde regiones de alta concentración a otras de baja concentración. Ósmosis es la difusión de agua a través de una membrana; el agua pasa hacia la solución que contenga la concentración de solutos más elevada (es decir, la concentración de agua más baja).

p. 35 3. Hay tres tipos de endocitosis: pinocitosis, fagocitosis y endocitosis mediada por receptores. La pinocitosis es la formación de vesículas (pinosomas) llenas de líquido extracelular. La fagocitosis produce vesículas (fagosomas) que contienen partículas sólidas. La endocitosis mediada por receptores se parece a la pinocitosis, pero es muy selectiva: las vesículas recubiertas llevan una molécula específica que esté dotada de algún interés particular a unas concentraciones elevadas, unida a los receptores de la superficie de la membrana.

p. 35 4. Las estructuras se denominan microvellosidades. Su función consiste en ampliar la superficie de absorción.

p. 38 1. La ausencia del flagelo inmovilizaría el espermatozoide.

p. 38 2. Las dos partes del citoplasma son las siguientes: 1) el citosol, que es el líquido intracelular que lleva disueltos nutrientes, iones, proteínas y productos de desecho, y 2) los orgánulos, que son estructuras encargadas de cumplir alguna función específica en el interior de la célula.

p. 43 1. Las mitocondrias producen ATP. Su número varía en cada célula concreta según sus necesidades energéticas. Si una célula contiene muchas mitocondrias, es que las demandas de energía son muy altas.

p. 43 2. Las células de los ovarios y los testículos contienen grandes cantidades de retículo endoplásmico liso (REL). En este caso, el REL sirve para sintetizar hormonas esteroideas.

p. 43 3. Si en una célula alterada se desintegran los lisosomas, estos liberan enzimas activas hacia el citosol. Estas enzimas destruyen con rapidez las proteínas y los orgánulos celulares, proceso llamado autólisis.

p. 48 1. La división celular es una forma de reproducción celular que da lugar a un aumento del número de células.

p. 48 2. La mitosis es un proceso que sucede durante la división de las células somáticas. Consiste en la duplicación exacta del material genético celular y el reparto de una copia a cada una de las dos células hijas.

p. 48 3. La interfase puede dividirse en las fases G_1, S y G_2. En la fase G_1 la célula fabrica orgánulos y citosol para producir dos células funcionales. Durante la fase S, la célula duplica sus cromosomas. La fase G_2 es el momento de síntesis proteínica de última hora antes de la mitosis. Una célula en interfase que esté en la fase G_0 no se está preparando para la mitosis, sino que cumple todas sus demás funciones normales. La mitosis consta de cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase. En la profase, surgen las fibras del huso y desaparece la membrana nuclear; en la metafase, las cromátides forman una fila a lo largo de la placa de la metafase; en la anafase, las cromátides se separan y se retiran hacia los polos opuestos del huso; y en la telofase, reaparece la membrana nuclear y los cromosomas se desenrollan a medida que las células hijas se alejan por citocinesis.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. E	**2.** G	**3.** H	**4.** B
5. D	**6.** I	**7.** C	**8.** F
9. A	**10.** B	**11.** C	**12.** B
13. B	**14.** D	**15.** D	**16.** B
17. A	**18.** C	**19.** C	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. La membrana nuclear separa parcialmente el nucleoplasma del citosol, circunstancia necesaria para permitir y favorecer las distintas funciones nucleares específicas.
2. Los tres conceptos básicos de la teoría celular son los siguientes:
   (a) Las células son los «bloques» estructurales de construcción de todas las plantas y los animales.
   (b) Las células se generan mediante la división de otras células preexistentes.
   (c) Las células son la unidad estructural más pequeña que cumple todas las funciones vitales.
3. Los cuatro procesos pasivos por los que las sustancias entran y salen de las células son la difusión, la ósmosis, la filtración y la difusión facilitada.
4. Semejanzas: ambos procesos utilizan proteínas transportadoras. Diferencias: en la difusión facilitada, las sustancias pasan a favor de sus gradientes de concentración (desde una concentración alta a otra más baja), y este fenómeno no recurre a la energía extraída de la degradación del ATP. En el transporte activo, las sustancias van en contra de sus gradientes de concentración (desde una concentración baja a otra más alta), actividad que requiere la energía suministrada por la descomposición del ATP.
5. Tres factores fundamentales que determinan si cualquier sustancia puede difundirse a través de una membrana plasmática son el tamaño de la molécula, el gradiente de concentración que haya a su través y la solubilidad que presente.
6. Los orgánulos son estructuras que cumplen funciones específicas dentro de la célula, y pueden dividirse en dos amplias categorías: 1) orgánulos sin membrana, que están en contacto permanente con el citoplasma, y 2) orgánulos con membrana, rodeados por una capa que aísla su contenido del citosol.
7. La frecuencia de las divisiones celulares puede calcularse según el número de células que haya en mitosis en cualquier momento dado. Cuanto más larga sea la esperanza de vida de una célula, más bajo es su índice mitótico.
8. Las fases de la mitosis son las siguientes:
   (a) Profase: los cromosomas (llamados cromátidas) se hacen visibles; los pares de centríolos se distancian entre sí; las fibras del huso saltan entre las parejas de centríolos; la membrana nuclear desaparece.
   (b) Metafase: las cromátidas se desplazan hacia la placa de la metafase.
   (c) Anafase: las parejas de cromátidas se separan; los cromosomas hijos se retiran hacia los extremos opuestos de la célula.
   (d) Telofase: «inversa a la profase»; se forman las membranas nucleares; los núcleos crecen; los cromosomas se desenrollan poco a poco.
9. Las funciones generales de la membrana plasmática son las siguientes:
   (a) aislamiento físico
   (b) regulación del intercambio con el medio
   (c) sensibilidad
   (d) ostén estructural
10. Los microfilamentos cumplen dos funciones fundamentales:
   (a) Los microfilamentos sujetan el citoesqueleto a las proteínas integrales de la membrana plasmática.
   (b) Los microfilamentos pueden interactuar con otros microfilamentos o con filamentos gruesos, con el fin de generar el movimiento activo de una porción de la célula.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Los tejidos corporales tienen una concentración de solutos más alta que el agua dulce, y con el paso del tiempo la ósmosis arrastra agua hacia la piel, lo que produce su hinchazón y su deformación.
2. Las células de la piel están firmemente sujetas entre sí, a través de sus abundantes desmosomas, unas uniones intercelulares muy resistentes y capaces de aguantar la torsión y el estiramiento o la separación.
3. Los orgánulos con membrana mantienen aislado su contenido interno, y esto les permite la fabricación o la acumulación de secreciones, enzimas o toxinas, capaces de ejercer una influencia negativa sobre el citoplasma en general. Otra ventaja es el aumento de eficacia, al dejar concentrado en un mismo lugar todo un sistema enzimático especializado. Por ejemplo, las mitocondrias poseen la concentración de enzimas necesaria para producir la energía de la célula.
4. Como el transporte de la molécula sigue un sentido contra el gradiente de concentración (es decir, va desde la concentración más baja hacia la más alta) y necesita energía para moverse a través de la membrana, este tipo se denomina transporte activo.

CAPÍTULO 3

Verificación de conceptos

p. 54 1. Hay cuatro tipos básicos de tejidos: tejido epitelial, tejido conjuntivo, tejido muscular y tejido nervioso.

p. 54 2. Entre las características de los epitelios figuran la celularidad, la polaridad, la fijación, la avascularidad y la regeneración.

p. 54 3. Las especializaciones de las células epiteliales consisten en la producción de secreciones, el movimiento de líquidos sobre la superficie y el paso de líquidos a través del propio epitelio.

p. 61 1. No. Un epitelio pavimentoso simple no ofrece suficiente protección contra las infecciones, la abrasión y la deshidratación, y no está presente en la superficie cutánea.

p. 61 2. En la secreción holocrina, durante el proceso secretor se destruye toda la célula glandular. Su continuación en la glándula exige la regeneración celular para sustituir los elementos perdidos durante la secreción.

p. 61 3. Durante la secreción apocrina, se desprende el producto de secreción más la porción apical del citoplasma celular.

p. 61 4. Un epitelio cilíndrico simple ofrece protección y puede intervenir en la absorción y la secreción.

p. 72 1. Los tres componentes básicos del tejido conjuntivo son las células especializadas, las fibras proteínicas extracelulares y un líquido llamado sustancia fundamental.

p. 72 2. El tejido conjuntivo propiamente dicho designa tejidos conjuntivos con muchos tipos de células y fibras extracelulares dentro de una sustancia fundamental viscosa. El tejido conjuntivo de sostén (cartílago y hueso) posee una población celular menos variada y una matriz que contiene fibras muy apretadas. Esta matriz es como un gel (cartílago) o está calcificada (hueso).

p. 72 3. Los dos tipos de células del tejido conjuntivo propiamente dicho son las células fijas y las células móviles. Las células fijas abarcan los fibroblastos, los fibrocitos, los macrófagos fijos, los adipocitos, las células mesenquimatosas y, en algunas ocasiones, los melanocitos. Las células móviles constan de los macrófagos libres, los mastocitos, los linfocitos, las células plasmáticas, los eosinófilos y los neutrófilos.

p. 72 4. Las fibras colágenas añaden resistencia al tejido conjuntivo. Hay que tener en cuenta que la falta de vitamina C dará lugar a la producción de un tejido conjuntivo más débil y predispuesto a la alteración.

p. 75 1. Las mucosas tapizan las vías de conducción que comunican con el exterior. Forman una barrera que se opone a la entrada de los patógenos; deben permanecer siempre húmedas.

p. 75 2. Otros nombres asignados a la fascia superficial son los de *capa subcutánea* o *hipodermis.* Esta estructura separa la piel de los tejidos y órganos subyacentes. Su función es suministrar aislamiento y almohadillado, y dejar que la piel o las estructuras situadas bajo ella se muevan de manera independiente.

p. 75 3. El pericardio es una membrana serosa que reviste la cavidad pericárdica y recubre el corazón.

p. 75 4. La membrana cutánea de la piel cubre la superficie del cuerpo. Esta estructura consta de un epitelio pavimentoso estratificado y una capa subyacente de tejido areolar reforzado por otra capa de tejido conjuntivo denso.

p. 77 1. Como los miocitos cardíacos y los estriados tienen estrías (bandas), debe ser músculo liso.

p. 77 2. Los miocitos estriados tienen un aspecto bandeado o estriado debido a la organización de los filamentos de actina y miosina en el interior de las células.

p. 77 3. El tejido nervioso.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. J	**2.** H	**3.** A	**4.** C
5. F	**6.** G	**7.** I	**8.** B
9. E	**10.** D	**11.** C	**12.** C
13. C	**14.** D	**15.** D	**16.** B
17. D	**18.** C	**19.** A	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. La unidad estructural y funcional es la célula aislada, mientras que los grupos formados por ellas funcionan en conjunto como unidades llamadas tejidos (colecciones de células especiales y productos celulares que cumplen unas funciones restringidas).
2. B
3. D

4. Un tendón está compuesto por cordones de tejido conjuntivo denso regular que fijan un músculo estriado a un hueso. Las fibras colágenas recorren el eje longitudinal del tendón y transmiten la tracción desde el músculo en contracción hasta el hueso.
5. Las secreciones exocrinas tienen lugar en un conducto que acaba en una superficie; las secreciones endocrinas suceden en el líquido intersticial, y después llegan a los vasos sanguíneos.
6. La presencia de cilios en la superficie del epitelio quiere decir que la capa de moco se mantendrá en movimiento sobre la superficie epitelial, y las paredes respiratorias permanecerán limpias (o despejadas).
7. La piel está separada de los músculos por una capa de tejido conjuntivo laxo. Este tejido ofrece un buen almohadillado y unas propiedades elásticas que permiten mantener un grado considerable de movimiento independiente entre las dos capas. Por tanto, al pellizcar la piel, esta acción no repercute sobre el músculo que queda debajo.
8. Mientras que un tendón está compuesto por cordones de tejido conjuntivo denso regular, una aponeurosis está formada por una lámina o una cinta de tejido conjuntivo con el aspecto de un tendón plano. Las aponeurosis pueden cubrir la superficie de los músculos y contribuir a sujetar los más superficiales entre sí o a otras estructuras.
9. Las células germinativas son células progenitoras que normalmente se encuentran en la capa más profunda del epitelio. Su división sirve para sustituir a las células perdidas o destruidas en la superficie epitelial.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. La presencia de ADN, ARN y componentes de la membrana hace pensar que las células quedaron destruidas en el proceso de secreción. Esto indica un tipo de secreción holocrina.
2. El tejido muscular estriado estaría integrado por fibras muy apretadas que llevarían la misma dirección, pero dado que estas fibras están compuestas por células, tendrían muchos núcleos y mitocondrias. El músculo estriado también presenta un evidente patrón formado por bandas o estrías, debido a la disposición de los filamentos de actina y miosina en el interior de la célula. El estudiante probablemente lo que está mirando es el corte de un tendón (tejido conjuntivo denso regular).
3. El epitelio respiratorio produce moco como respuesta a la irritación por el tabaco. Los cilios presentes en muchas células del aparato respiratorio baten en sentido ascendente, lo que desplaza hacia arriba el moco formado por el epitelio respiratorio hasta llegar al esófago, donde puede deglutirse y eliminarlo. La destrucción de los cilios impide la supresión de este moco. Por tanto, la tos es el único mecanismo disponible para su retirada.
4. Al igual que las fibras del músculo estriado, las del músculo cardíaco son incapaces de dividirse. Sin embargo, como el músculo cardíaco carece de células miosatélite que cumplan esta misión para reparar el músculo estriado dañado por la isquemia, las fibras del músculo cardíaco expuestas a esta circunstancia mueren, lo que provoca un infarto de miocardio, potencialmente mortal.

CAPÍTULO 4

Verificación de conceptos

p. 92 1. Las células se desprenden constantemente de las capas externas del estrato córneo.

p. 92 2. La astilla se deposita en el estrato granuloso.

p. 92 3. Las dos subdivisiones principales del sistema tegumentario son la membrana cutánea y los anejos cutáneos. La membrana cutánea posee dos partes: la epidermis superficial y la dermis más profunda. Los anejos cutáneos comprenden los folículos pilosos, las glándulas exocrinas y las uñas.

p. 92 4. La queratinización es la producción de queratina por las células epidérmicas. Este proceso tiene lugar en el estrato granuloso de la epidermis. Las fibras de queratina surgen en el interior de las células de este estrato granuloso. A medida que avanza su producción, las células se adelgazan y se aplanan, y sus membranas plasmáticas adquieren mayor grosor y pierden permeabilidad. Cuando las células mueren, forman las capas muy apretadas correspondientes al estrato lúcido y el estrato córneo.

p. 94 1. Estos términos se refieren al espesor relativo de la epidermis, no de los tegumentos en su conjunto. La piel gruesa está en la palma de las manos (la epidermis puede llegar a ocupar 0,5 mm de espesor), mientras que la piel fina cubre la mayor parte del cuerpo (con un espesor medio de 0,08 mm de epidermis).

p. 94 2. El raspado de las yemas de los dedos no producirá la eliminación permanente de las huellas dactilares. Como las crestas epidérmicas de esta zona se forman en capas de la piel que están en continua regeneración, a la larga reaparecerán. La auténtica configuración de las crestas queda determinada por la disposición adoptada por el tejido en la dermis, a la que no llega el raspado.

p. 94 3. El color de la epidermis se debe a una combinación entre el riego sanguíneo de la dermis y la presencia de dos pigmentos a una cantidad variable: caroteno y melanina.

p. 94 4. Las crestas epidérmicas se deben a las capas más profundas de la epidermis que penetran hacia la dermis, lo que amplía la zona de contacto entre ambas regiones. Las papilas dérmicas son prolongaciones de la dermis que se extienden entre las crestas adyacentes.

p. 100 1. Cuando la dermis se estira en exceso, las fibras elásticas no dan más de sí y ya no son capaces de volver a retraerse. En ese momento, la piel forma unos pliegues o arrugas en las zonas afectadas, llamadas estrías.

p. 100 2. La contracción del erector de los pelos tira del folículo piloso para levantarlo, y desciende la zona correspondiente a la base del pelo, lo que hace que la piel a su alrededor parezca más alta. La actividad combinada de los erectores de los pelos produce la «carne de gallina» o «piel de gallina».

p. 100 3. Cada pelo tiene una médula, producida por la porción central de la matriz del pelo, rodeada por una corteza y recubierta por una cutícula. El tallo del pelo comienza cuando su organización interna está completa (más o menos a mitad de su altura hacia la superficie).

p. 103 1. Las glándulas sudoríparas apocrinas elaboran una secreción viscosa, turbia y potencialmente olorosa. Esta lleva varios tipos de compuestos orgánicos. Algunos tienen su propio olor y otros lo generan debido a su metabolismo por las bacterias de la piel. Los desodorantes se emplean para ocultar el olor resultante. Las glándulas sudoríparas merocrinas producen una secreción acuosa que principalmente lleva cloruro sódico, metabolitos y productos de desecho. Las secreciones merocrinas son acuosas y en general se las denomina sudor.

p. 103 2. La transpiración insensible es el sudor producido por las glándulas sudoríparas merocrinas.

p. 103 3. El sistema nervioso autónomo puede activar o desactivar las glándulas sebáceas y sudoríparas apocrinas en su conjunto, pero no existe ningún control local ni regional. También regula la cantidad de la secreción emitida por las glándulas sudoríparas merocrinas, así como las regiones corporales implicadas.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. E	**2.** F	**3.** D	**4.** G
5. C	**6.** H	**7.** B	**8.** I
9. A	**10.** D	**11.** A	**12.** D
13. D	**14.** B	**15.** B	**16.** B
17. B	**18.** C	**19.** A	**20.** A

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. B
2. Las personas de piel blanca producen menos melanina en los melanocitos y, por tanto, tienen menos capacidad para impedir la absorción de la radiación ultravioleta (UV), que es perjudicial en potencia. Al llegar más radiación UV a las capas más profundas de la piel, la alteración provocada puede tener mayor magnitud.
3. Las agresiones mecánicas hacen que las células del estrato germinativo aceleren su velocidad de división, lo que aumenta el espesor del epitelio.
4. Si la piel se estira y después no se contrae hasta su tamaño inicial, se arruga y se pliega, lo que genera una red de estrías.
5. La queratina se produce en el estrato granuloso en grandes cantidades. Sus fibras se entrecruzan en las células de esta capa durante el proceso de queratinización. Estas células se adelgazan y se aplanan; después, se deshidratan. La queratina es importante para mantener la estructura de la parte más externa de la epidermis e intervenir en su resistencia al agua. Además, también forma el componente estructural básico del pelo y de las uñas.
6. Que carece de órganos vitales.
7. Estas actividades reducen la secreción acumulada sobre la superficie de la piel con un carácter oloroso en potencia, o inhiben la actividad de las bacterias sobre estas secreciones.
8. Una persona cianótica sufre una disminución mantenida del aporte circulatorio a la piel. Por este motivo, la piel adopta una coloración azulada, llamada cianosis.
9. En el anciano, disminuye el riego sanguíneo de la dermis y la actividad de las glándulas sudoríparas. Esta combinación reduce su capacidad para disipar el calor corporal y enfriar su cuerpo al quedar expuestos a unas temperaturas elevadas.
10. D

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Cuando la temperatura corporal sube, aumenta el flujo sanguíneo dirigido hacia los vasos cutáneos. El pigmento rojo de la sangre dota a la piel de un tono más rojizo de lo habitual y explica el aspecto colorado que toma la persona. La piel está seca debido a que las glándulas sudoríparas no producen sudor (lo que evita agravar la deshidratación). Sin el enfriamiento por evaporación no se disipa suficiente calor a través de la piel, lo que hace que se caliente y la temperatura corporal ascienda.

2. Las líneas de incisión son importantes porque si un corte lleva un trayecto paralelo a ellas, se cierra con mayor facilidad, mientras que si es perpendicular, seccionará las fibras elásticas de la piel, y se abrirá por la tracción debida a su retroceso. Un corte paralelo también se curará a mayor velocidad y dejará una cicatriz menor que si fuera perpendicular a las líneas de incisión.
3. La palma de las manos y la planta de los pies tienen una epidermis de mayor grosor, que está compuesta por una capa más, el estrato lúcido. Esta capa más gruesa frena la velocidad de difusión del medicamento y disminuye considerablemente su eficacia.

CAPÍTULO 5

Verificación de conceptos

p. 117 1. Si en un hueso aumenta el cociente entre el colágeno y la hidroxiapatita, ganará flexibilidad y perderá resistencia.

p. 117 2. Las capas concéntricas de hueso que rodean a un conducto central son indicativas de una osteona o un sistema de Havers. Las osteonas están presentes en el hueso compacto. Como los extremos (epífisis) de los huesos largos tienen sobre todo hueso esponjoso (trabecular), lo más probable es que esta muestra proceda del cuerpo (diáfisis) de un hueso largo.

p. 117 3. Como los osteoclastos actúan en la descomposición o desmineralización del hueso, el resultado será una pérdida de su contenido mineral y una mayor debilidad.

p. 117 4. Se impedirá la reparación de las fracturas.

p. 124 1. Los huesos largos del cuerpo, como el fémur, tienen un cartílago epifisario que separa la epífisis de la diáfisis, mientras siga activo su crecimiento en longitud. Una radiografía indicaría si todavía está presente el cartílago epifisario. En ese caso, el crecimiento aún sigue en marcha, y si no es así, el hueso ha alcanzado sus dimensiones adultas.

p. 124 2. 1) Dentro de un tejido conjuntivo fibroso, los osteoblastos segregan los componentes de la matriz en un centro de osificación. 2) El crecimiento se produce hacia fuera desde el centro de osificación, lanzando unos pequeños espolones llamados espículas. 3) Con el tiempo, el hueso adopta la estructura de hueso esponjoso; su remodelación posterior puede generar hueso compacto.

p. 124 3. El diámetro de un hueso aumenta mediante un mecanismo de crecimiento por aposición sobre su cara externa. En este proceso, las células periósticas se diferencian en osteoblastos y contribuyen a la expansión de la matriz ósea.

p. 124 4. El cartílago epifisario es una banda de cartílago relativamente estrecha, que separa la epífisis de la diáfisis, y está situado en la metáfisis. El crecimiento continuo de los condrocitos por el lado epifisario y su posterior sustitución por hueso en el lado diafisario permiten el aumento de un hueso en longitud durante su desarrollo.

p. 126 1. Los huesos aumentan de espesor como respuesta a la sobrecarga física. Uno de los tipos más frecuentes de esfuerzo aplicado sobre un hueso es el ocasionado por los músculos. Cabría esperar que los huesos de un deportista fueran más gruesos después de adquirir una masa muscular extra, debido a que el músculo ejercería mayor fuerza sobre él.

p. 126 2. La vitamina D desempeña una función importante en el metabolismo normal del calcio, al estimular la absorción y el transporte de los iones de calcio y fosfato hacia la sangre. La calcitonina inhibe los osteoclastos y hace que se expulse una mayor cantidad de calcio por la orina. La hormona paratiroidea estimula a los osteoclastos y los osteoblastos, aumenta la absorción del calcio en el intestino (esta acción exige otra hormona, el calcitriol) y frena su pérdida por la orina. También son importantes las vitaminas A y C, lo mismo que la hormona de crecimiento y las hormonas sexuales.

p. 126 3. En un joven de 15 años, cabe imaginar que la velocidad de formación de hueso superará la de su resorción, mientras que a los 30 años se supone que serán casi iguales.

p. 130 1. Las marcas óseas suelen ser palpables en la superficie; ofrecen un punto de referencia para orientarse sobre los tejidos blandos asociados a ellas. Los médicos forenses pueden utilizarlas para calcular el tamaño, el peso, el sexo y el aspecto general que tuviera un individuo, partiendo de sus restos incompletos.

p. 130 2. Un hueso sesamoideo suele ser redondo, pequeño y plano. Los huesos irregulares pueden presentar formas complejas, con unas superficies exiguas, planas y surcadas por escotaduras o crestas.

p. 130 3. Los *huesos wormianos,* también llamados huesos de las suturas, son de pequeño tamaño, planos, tienen una forma extraña y están presentes en las líneas de sutura entre los huesos planos del cráneo.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. B	**2.** B	**3.** A	**4.** B
5. B	**6.** A	**7.** A	**8.** A
9. A	**10.** B		

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C
2. A
3. En la osificación intramembranosa, el hueso se forma a partir de mesénquima o de tejido conjuntivo fibroso. En la endocondral, sustituye a un modelo cartilaginoso preexistente.
4. Al llegar a la madurez, el crecimiento del cartílago epifisario pierde velocidad, mientras se acelera la producción de osteoblastos, lo que hace más estrecha la región que ocupa. Cuando este cartílago desaparece, la epífisis y la diáfisis del hueso crecen al mismo tiempo, y se detiene su alargamiento.
5. El hueso esponjoso está presente en las zonas donde los huesos reciban sobrecargas que sigan múltiples direcciones. En los extremos ensanchados de los huesos largos, o epífisis, las trabéculas del hueso esponjoso se encuentran muy apuntaladas para soportar fuerzas aplicadas en diversas direcciones.
6. Un hueso aumenta de diámetro mediante crecimiento por aposición, en el que la expansión de su cara externa sucede a medida que las células del periostio se diferencian en osteoblastos, que contribuyen a formar la matriz ósea. A la larga, estas células quedan rodeadas de matriz y se diferencian en osteocitos. Además, los osteoclastos eliminan matriz ósea en la parte de la superficie interna, para dilatar la cavidad medular.
7. El resultado final de la reparación es un poco más grueso y resistente que el hueso original.
8. Un hueso fracturado necesita un buen aporte de calcio y fosfato para fabricar nueva matriz. Por tanto, si la alimentación lleva poca cantidad de estos minerales, constituirá un obstáculo contra la velocidad de consolidación del hueso afectado.
9. Un hueso sesamoideo suele ser pequeño, redondo y plano. Aparece en el interior de un tendón, y lo hace más a menudo cerca de las articulaciones de la rodilla, de las manos y de los pies. Los huesos wormianos (de las suturas) son de pequeño tamaño, planos, tienen una forma extraña y están presentes en las líneas de sutura entre los huesos planos del cráneo.
10. La osificación es el proceso de sustituir otro tejido por hueso. La calcificación designa el depósito de sales cálcicas en el interior de un tejido.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En el punto de rotura, la hemorragia de la región crea un hematoma de fractura. Cuando una red de hueso esponjoso une sus bordes internos aparece un callo interno, y otro callo externo formado por cartílago y hueso estabiliza los bordes externos. En conjunto, esto es lo que se ve como una elevación. En un primer momento, el lugar de la fractura viene señalado por una prominencia. Con el tiempo, esta región se remodelará y quedarán pocos indicios de su existencia.
2. En los niños, los huesos largos son relativamente finos y flexibles, y fáciles de deformar, pues la proporción relativa de fibras colágenas es más alta con respecto a las sales de calcio y de fosfato osificadas. Esto hace que en ellos sean más frecuentes las fracturas en tallo verde que en los adultos. Con el paso de los años, la proporción de las fibras colágenas baja con respecto a las sales de calcio y de fosfato osificadas, lo que vuelve más quebradizos a los huesos, y así disminuye la frecuencia de las fracturas en tallo verde.
3. Lo más probable es que el paciente sufriera la fractura debido a la osteoporosis, cuya incidencia es mayor en las mujeres posmenopáusicas. La osteoporosis es un descenso de la masa ósea que pone en peligro el funcionamiento normal del hueso. La actividad superior de los osteoclastos es la responsable de esta reducción en la masa ósea. El tratamiento puede consistir en la estrogenoterapia restitutiva, la introducción de cambios en la alimentación para elevar la calcemia, y la realización de ejercicio para sobrecargar los huesos y estimular la actividad de los osteoblastos.

CAPÍTULO 6

Verificación de conceptos

p. 148 1. La vena yugular interna atraviesa el agujero yugular, un orificio que queda entre el hueso occipital y el temporal.

p. 148 2. La silla turca está situada en el esfenoides, y contiene la hipófisis.

p. 148 3. Las fibras nerviosas destinadas al bulbo olfatorio, estructura que participa en el sentido del olfato, atraviesan la lámina cribosa a lo largo de su trayecto desde la cavidad nasal. Si no se produjera su formación, los nervios sensitivos no podrían llegar a los bulbos olfatorios y se perdería el sentido del olfato (olfacción).

p. 148 4. El cráneo, o «cavidad craneal», está formado por ocho huesos de la calavera: el hueso frontal, los huesos parietales (2), el hueso occipital, los huesos temporales (2), el esfenoides y el etmoides.

p. 158 1. Los 14 huesos faciales son los maxilares (2), los huesos cigomáticos (2), los huesos nasales (2), los huesos lagrimales (2), los cornetes nasales inferiores (2), los huesos palatinos (2), el vómer y la mandíbula. Estos huesos protegen y mantienen la entrada al tubo

digestivo y a las vías respiratorias, y proporcionan una amplia superficie para la inserción de los músculos estriados.

p. 158 2. Los senos paranasales sirven para aligerar parte de los huesos de la calavera, producir moco y generar una resonancia durante la emisión del sonido.

p. 158 3. El complejo orbitario está compuesto por determinadas porciones de los siete huesos siguientes: los huesos palatino, cigomático, frontal y lagrimal, y los maxilares, el esfenoides y el etmoides.

p. 170 1. La apófisis odontoides, o diente, pertenece a la segunda vértebra cervical, o axis, que está situada en el cuello.

p. 170 2. La compresión indebida del tórax durante la RCP podría desembocar en una fractura de las costillas o del esternón, sobre todo en la apófisis xifoides.

p. 170 3. La columna vertebral está dividida en las regiones cervical, torácica, lumbar, sacra y coccígea. Sus rasgos distintivos son los siguientes: cervical –agujero triangular–, apófisis espinosa bífida, agujeros transversos; torácica –agujero redondo–, cuerpo con forma de corazón, fositas costales de las apófisis transversas, fositas costales; lumbar –agujero triangular–, cuerpo ovalado, grande y robusto; sacra –cinco vértebras fusionadas–; coccígea –tres a cinco pequeñas vértebras fusionadas–.

p. 170 4. Desde arriba hacia abajo, las curvaturas vertebrales son las siguientes: 1) curvatura cervical; 2) curvatura torácica; 3) curvatura lumbar, y 4) curvatura sacra.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. B	**2.** E	**3.** H	**4.** J
5. I	**6.** A	**7.** D	**8.** G
9. F	**10.** C	**11.** D	**12.** D
13. A	**14.** A	**15.** D	**16.** A
17. A	**18.** C	**19.** A	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. El diseño del atlas es tal que deja más espacio libre que cualquier otra vértebra para alojar la médula espinal. Este espacio extra sirve como medio de garantizar que no quede comprimida en ninguno de los múltiples movimientos que suceden a este nivel.

3. Una depresión central que está situada entre las alas del hueso esfenoides y resulta claramente visible; sirve para alojar la hipófisis justo por debajo del encéfalo. Este nicho se denomina fosa hipofisaria, y todo el recinto óseo silla turca.

4. El desplazamiento del peso sobre las piernas sirve para mover el centro de gravedad hacia adelante, proporcionando una base más estable para permanecer de pie y para caminar.

5. El ligamento nucal es un gran ligamento elástico que nace en la vértebra prominente y se dirige en sentido craneal hasta su inserción a lo largo de la cresta occipital externa. Durante su recorrido, se fija en las apófisis espinosas de las demás vértebras cervicales. Cuando la cabeza permanece recta, este ligamento es como la cuerda de un arco, y mantiene la curvatura cervical sin necesidad de efectuar ningún esfuerzo muscular.

6. La mucosa de los senos paranasales responde a cualquier agresión ambiental acelerando la producción de moco. El moco lava los irritantes presentes en las paredes de las cavidades nasales. Este efecto lo producen toda una diversidad de estímulos, como los cambios bruscos de temperatura o de humedad, los vapores molestos y las infecciones bacterianas o víricas.

7. El cuerpo de las vértebras lumbares es más grande porque estas vértebras soportan la mayor parte del peso.

8. La gruesa porción petrosa del hueso temporal alberga las estructuras del oído interno que aportan información sobre el oído y el equilibrio.

9. Los agujeros de la lámina cribosa dejan pasar los nervios olfatorios, que se ocupan del sentido del olfato.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En las últimas etapas del embarazo, las mujeres sufren dolores en la parte inferior de la espalda debidos a los cambios producidos en la curvatura lumbar de la columna. Al tener una masa mayor, el útero gestante desplaza el centro de gravedad y, como compensación, la curvatura lumbar se exagera y la región lumbar sostiene más peso corporal que lo normal. Esto da lugar a mialgias y dolor en la parte inferior de la espalda.

2. Probablemente Jeff tiene una desviación del tabique al haberse roto la nariz. En esta situación, la porción cartilaginosa del tabique se tuerce en su unión al hueso. El proceso suele obstaculizar el drenaje de un seno o de varios, con la aparición resultante de cefaleas sinusales, infecciones y sinusitis.

3. Como consecuencia del catarro o de la gripe, duelen los dientes de los maxilares, y se siente una pesadez en la parte anterior de la cabeza. La inflamación de las mucosas de los senos paranasales aumenta la producción de moco. Los senos maxilares suelen estar afectados debido a que la gravedad sirve de poco como medio para evacuar el moco de su interior. La congestión se agrava y el paciente experimenta cefaleas, sensación de presión sobre los huesos faciales, y dolor en los dientes implantados sobre los maxilares.

4. Los rasgos faciales que reciben la designación de pómulos están formados por la prolongación anterior de los huesos maxilares, que se articulan con la prolongación posterior de los huesos cigomáticos en la zona inferior a la órbita. Esto constituye un rasgo destacado de la cara, pues actúa como protección para las órbitas que quedan por encima. La modelo alabada debido a la apariencia grande de sus ojos habría de poseer unas regiones que fueran mayores de lo normal, donde hubiera alojados unos globos oculares también mayores de lo normal para tener, de verdad, unos ojos más grandes. Con toda probabilidad, el aspecto fotogénico de sus ojos tiene más que ver con la disposición adoptada por las estructuras de sus tejidos blandos y con el maquillaje que con una organización excepcional de los huesos de la cara.

CAPÍTULO 7

Verificación de conceptos

p. 186 1. La clavícula sujeta la escápula al esternón y de esta manera limita su amplitud de movimientos. Si se fractura, la escápula podrá realizar un mayor recorrido en sus desplazamientos, y será menos estable.

p. 186 2. El radio ocupa la zona lateral cuando el antebrazo está en posición anatómica.

p. 186 3. El olécranon está en la punta del codo. Durante la extensión, esta parte pivota dentro de la fosa olecraneana que hay en la cara posterior del húmero, e impide la hiperextensión.

p. 186 4. La clavícula se articula con el manubrio del esternón, y esto supone el único punto de contacto directo entre la cintura escapular y el esqueleto de la cabeza y el tronco.

p. 200 1. Los tres huesos que constituyen el hueso coxal son el ilion, el isquion y el pubis.

p. 200 2. Aunque el peroné no forma parte de la articulación de la rodilla ni tampoco soporta ningún peso, es un lugar importante de inserción para muchos músculos de la pierna. Cuando se fractura, estos músculos no pueden moverla correctamente, y caminar se vuelve un proceso difícil y doloroso. El peroné también contribuye a estabilizar la articulación del tobillo.

p. 200 3. Lo más probable es que Mark se haya fracturado el calcáneo (el hueso del talón).

p. 200 4. Hay seis diferencias que sirven como adaptaciones para la maternidad: el estrecho inferior de la pelvis ensanchado; la menor curvatura sobre el sacro y el cóccix, mientras que en el hombre forma un arco anterior hacia el estrecho inferior de la pelvis; el estrecho superior de la pelvis más ancho y circular; la parte inferior de la pelvis relativamente amplia; el ilion que llega más lejos en sentido lateral, pero tampoco se extiende tan arriba por encima del sacro; y un arco del pubis más abierto, que supera los 100° en la parte inferior de los huesos del pubis.

p. 200 5. Durante la flexión dorsal, tal como sucede al «clavar los tacones», toda la carga descansa sobre el calcáneo. En la flexión plantar y al «ponerse de puntillas», el astrágalo y el calcáneo trasladan el peso hacia los huesos metatarsianos y las falanges a través de los elementos más anteriores del tarso.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. B	**2.** E	**3.** G	**4.** J
5. C	**6.** I	**7.** F	**8.** A
9. H	**10.** D	**11.** B	**12.** C
13. C	**14.** A	**15.** D	**16.** B
17. C	**18.** C	**19.** C	**20.** C

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. A

3. A

4. Para determinar la edad de un esqueleto, habría que atender a algunos de los aspectos siguientes o a todos: la fusión de los cartílagos de crecimiento, la cantidad que presente de contenido mineral, las dimensiones y la rugosidad de las marcas óseas, los dientes, la masa ósea de la mandíbula y el tamaño de los discos intervertebrales.

5. La transmisión del peso tiene lugar a lo largo del arco longitudinal del pie. Los ligamentos y los tendones se encargan de mantener su existencia al unir el calcáneo con las porciones distales de los huesos metatarsianos. En condiciones normales de bipedestación, es la parte lateral calcánea del pie la que transfiere la mayor parte del peso corporal. Esta porción del arco tiene una curvatura menor que la medial o astragalina.

6. Las fracturas de la porción medial de la clavícula son frecuentes porque una caída con la extremidad superior en extensión y apoyando la palma de la mano produce fuerzas de compresión que se transmiten hasta el hueso y su articulación con el manubrio.
7. La tibia forma parte de la articulación de la rodilla y participa en la transferencia del peso hasta el tobillo y el pie. El peroné queda excluido de la articulación de la rodilla y no transmite ningún peso hasta ellos.
8. El olécranon del cúbito está en la punta del codo. Durante la extensión extrema, esta prolongación pivota dentro de la fosa olecraneana que hay en la cara posterior del húmero, para impedir la hiperextensión del antebrazo con respecto al brazo.
9. El peso corporal llega hasta los huesos metatarsianos, a través del cuboides y los huesos cuneiformes.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. En la osteoporosis, el descenso en el contenido de calcio presente en el cuerpo da lugar a unos huesos débiles y quebradizos. Como la articulación de la cadera y los huesos de la extremidad inferior han de sujetar el peso del cuerpo, la existencia de cualquier debilidad puede hacer que pierdan la solidez necesaria para sostener la masa corporal, y por esta razón el hueso se romperá bajo la acción de un gran peso. La articulación del hombro no se ocupa de soportar ninguna carga ni tampoco está sometida a los mismos esfuerzos intensos que la cadera o a unas contracciones musculares igual de potentes. Debido a esto, son menos frecuentes las fracturas de sus huesos.
2. El aspecto general de la pelvis, la forma de su estrecho superior, la profundidad de la fosa ilíaca, las características del ilion, el ángulo inferior de la sínfisis del pubis, la posición del acetábulo, la forma del agujero obturado y las características del isquion son importantes para determinar el sexo de un individuo a partir de su esqueleto. La edad puede averiguarse mediante el tamaño, el grado de mineralización y la presencia de diversas marcas en los huesos. El aspecto general del sujeto también puede reconstruirse observando las huellas dejadas en los huesos por las inserciones musculares. Este dato sirve para indicar el tamaño de los músculos, su forma y, con ello, la del individuo.
3. Muchas características craneales sirven para revelar el sexo del individuo, pero hay otros rasgos en distintos elementos óseos, como la robustez de los huesos, el ángulo de reunión entre los huesos del pubis, la anchura de la pelvis, los ángulos del fémur y muchos más.
4. La afección denominada pies planos se debe a que el arco longitudinal del pie es más bajo que lo normal. Lo más probable es que la presencia de una debilidad en los ligamentos y los tendones que ligan el calcáneo a los extremos distales de los metatarsianos contribuya a su aparición.

CAPÍTULO 8

Verificación de conceptos

p. 208 1. Una sinartrosis no permite ningún movimiento relativo, mientras que una anfiartrosis sí que permite un cierto grado.

p. 208 2. La principal ventaja es que permite una gran amplitud de movimientos sin un rozamiento apreciable.

p. 208 3. La reducción del rozamiento y la distribución de los gases disueltos, los nutrientes y los productos de desecho.

p. 208 4. Las bolsas son unos sacos revestidos por una membrana sinovial y llenos de líquido sinovial. Sirven para reducir el rozamiento entre estructuras adyacentes, como los tendones y los huesos o los músculos.

p. 212 1. En un principio, la articulación es un tipo de sindesmosis. Cuando los huesos se fusionan, constituyen una sinostosis a lo largo de la sutura.

p. 212 2. (a) Abducción, (b) supinación, y (c) flexión.

p. 221 1. Como en la articulación del hombro está la bolsa subescapular, en el tenista aparecerá una inflamación de esta estructura (bursitis). El proceso va asociado a la repetición de un movimiento en el hombro, como el balanceo de la raqueta. La persona que corre para hacer ejercicio estaría más expuesta a sufrir una lesión en la articulación de la rodilla.

p. 221 2. Lo más fácil es que Mary se haya fracturado el cúbito.

p. 228 1. En la articulación de la cadera estarían presentes los ligamentos iliofemoral, pubofemoral e isquiofemoral.

p. 228 2. La lesión meniscal sufrida en la articulación de la rodilla derivaría en una menor estabilidad articular. A la persona le va a costar más bloquear la rodilla en su posición mientras está de pie, y tendrá que realizar contracciones musculares para estabilizar la articulación. Si permanece mucho tiempo de pie, los músculos se cansarán y la rodilla «fallará». También hay que contar con la aparición de dolor.

p. 228 3. El ligamento rotuliano actúa como un apoyo para la parte anterior de la articulación de la rodilla. Su lesión afectaría a este apoyo.

p. 228 4. El ligamento colateral tibial refuerza la articulación de la rodilla por su cara medial, y el ligamento colateral peroneo lo hace por la lateral (v. figuras 8.17a y 8.18). Estos ligamentos sólo se tensan en la extensión máxima, posición en la que sirven para estabilizar la articulación.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. I	**2.** D	**3.** H	**4.** C
5. G	**6.** B	**7.** F	**8.** A
9. E	**10.** D	**11.** D	**12.** B
13. C	**14.** D	**15.** B	**16.** A
17. C	**18.** B	**19.** A	**20.** A

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. A
2. Una articulación nunca puede ser a la vez muy móvil y muy resistente. Cuanto mayor sea su amplitud de movimientos, más débil será, y viceversa. Por ejemplo, la sinartrosis, que es el tipo de articulación más resistente, no permite ningún movimiento.
3. Antes de su fusión, las dos partes del mismo hueso están unidas por una línea de cartílago, y se denomina sincondrosis. Una vez que se borra la lámina cartilaginosa, desaparece la articulación, y se convierte en una sinostosis inmóvil.
4. La articulación tibioastragalina, o articulación del tobillo, está integrada por la superficie articular distal de la tibia, incluido el maléolo medial, el maléolo lateral del peroné, y la tróclea y las carillas articulares laterales del astrágalo. Los maléolos, sostenidos por los ligamentos de la articulación del tobillo (el ligamento deltoideo medial y los tres ligamentos laterales) más las almohadillas adiposas asociadas, impiden que los huesos del tobillo se deslicen de un lado a otro.
5. Los cartílagos articulares cubren las superficies articulares de los huesos. Se parecen a los cartílagos hialinos de otras zonas del cuerpo, pero carecen de pericondrio, y su matriz contiene más agua que en otros cartílagos.
6. Los factores que limitan la amplitud de los movimientos en una articulación son los ligamentos auxiliares y las fibras colágenas de la cápsula articular, la forma de las superficies articuladas, que permite el movimiento en unas direcciones y lo impide en otras, la tensión adquirida por los tendones que se insertan en los huesos articulados, y el grueso de los músculos que la rodean.
7. La cápsula articular que rodea la articulación sinovial en su integridad se continúa con el periostio de los huesos en cuestión. Los ligamentos auxiliares son engrosamientos localizados de esta cápsula. Los ligamentos extracapsulares se hallan fuera de la cápsula; los ligamentos intracapsulares están dentro. En la articulación humerocubital, la cápsula se encuentra reforzada por potentes ligamentos. El ligamento colateral radial estabiliza la cara lateral de la articulación. El ligamento anular une la cabeza proximal del radio al cúbito. La cara medial de la articulación se encuentra estabilizada por el ligamento colateral cubital.
8. Los bordes óseos están engranados y unidos por tejido conjuntivo denso a nivel de la sutura. Un tipo diferente de sinartrosis es la que une cada diente al alvéolo óseo que lo rodea. Esta conexión fibrosa es el ligamento periodontal.
9. El movimiento de la muñeca y de la mano hasta que la palma mire hacia atrás en vez de hacia adelante se denomina pronación. La circunducción es un tipo especial de movimiento angular que engloba todas sus clases: flexión, extensión, aducción y abducción.
10. Al envejecer, disminuye la cantidad de agua que contiene el núcleo pulposo en cada disco. La salida de agua desde los discos provoca un acortamiento de la columna vertebral.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El término *latigazo* se emplea para describir una lesión en la que el cuerpo cambia de posición bruscamente, como sucede al caerse o al sufrir una aceleración o una desaceleración rápida. Los músculos que mantienen la cabeza en equilibrio no tienen la fuerza suficiente para estabilizarla. Así, puede producirse una peligrosa luxación parcial o total de las vértebras cervicales, con lesión de los músculos y los ligamentos, y una posible alteración de la médula espinal. Se denomina latigazo porque el movimiento de la cabeza es parecido al restallar de un látigo.
2. En un esguince, los ligamentos se estiran hasta el punto de romperse parte de las fibras colágenas. El ligamento sigue siendo funcional, y no se alteran ni la estructura ni la estabilidad de la articulación. En un incidente más grave, puede desgarrarse todo el ligamento, lo que simplemente recibe el nombre de rotura ligamentosa, o la conexión entre el ligamento y el maléolo es tan fuerte que se rompe el hueso antes que el ligamento. Por regla general, la fractura de un hueso se consolida con mayor rapidez y eficacia que la rotura de un ligamento. Muchas veces estas lesiones van acompañadas de una luxación.

3. Cuando la rodilla está flexionada, es capaz de moverse al recibir un golpe en su parte interna o externa (superficies medial o lateral). Sin embargo, cuando está «plantada», se encuentra en una posición de bloqueo. En estas circunstancias, están tensos los ligamentos colaterales medial y lateral y los ligamentos cruzados anteriores, lo que aumenta sus posibilidades de lesión.

CAPÍTULO 9

Verificación de conceptos

p. 239 1. El tejido muscular estriado mueve el cuerpo al tirar de los huesos que forman el esqueleto. El tejido muscular cardíaco del corazón impulsa la sangre a través de las arterias y las venas del aparato circulatorio. Los tejidos musculares lisos empujan los líquidos y los sólidos a lo largo del tubo digestivo, y cumplen diversas funciones en otros sistemas.

p. 239 2. El perimisio es el tabique de tejido conjuntivo que separa los fascículos adyacentes en un músculo estriado. Contiene vasos sanguíneos y nervios que se encargan de cada fascículo independiente.

p. 239 3. Los tendones son bandas colágenas que conectan el músculo estriado al esqueleto. Las aponeurosis son hojas tendinosas aplanadas y espesas.

p. 239 4. La unión neuromuscular (también llamada sinapsis neuromuscular) es el lugar en el cual el axón se reúne con el sarcolema, o membrana celular muscular. Una placa motora es la región del sarcolema correspondiente a la sinapsis neuromuscular.

p. 244 1. El músculo estriado presenta este aspecto rayado al observarlo bajo un microscopio, porque está compuesto de los miofilamentos actina y miosina, cuya organización es tal que produce una apariencia bandeada en el músculo.

p. 244 2. Una miofibrilla es una colección cilíndrica de miofilamentos contenida en un miocito cardíaco o estriado.

p. 244 3. Los miofilamentos están constituidos fundamentalmente por actina y miosina, además de las proteínas complementarias correspondientes al filamento fino (tropomiosina y troponina).

p. 244 4. La unidad funcional del músculo estriado es el sarcómero.

p. 244 5. Las proteínas tropomiosina y troponina sirven para regular las interacciones entre la actina y la miosina.

p. 248 1. Durante la contracción, la anchura de la banda A permanece invariable, y la banda I se reduce.

p. 248 2. La estimulación de una motoneurona desencadena la emisión de sustancias químicas en la sinapsis neuromuscular, que modifican el potencial de membrana en el sarcolema. Este cambio se extiende a través de toda la superficie del sarcolema y va dirigido hacia los túbulos en T. La alteración del potencial de membrana en los túbulos en T dispara la liberación de iones de calcio por el retículo sarcoplásmico. Su salida pone en marcha la contracción, que progresa a medida que las cabezas de miosina atraviesan ciclos repetidos de unión-basculación-desprendimiento-regreso.

p. 248 3. Las cisternas terminales son cavidades dilatadas en el retículo sarcoplásmico –almacenan iones de calcio, que hacen falta para poner en marcha la actividad contráctil de los miocitos estriados–. Los túbulos transversales están encajonados entre cisternas terminales. Un túbulo transversal es una invaginación del sarcolema, que transmite la estimulación hacia el interior de la célula. A su llegada, provoca la liberación de iones de calcio desde las cisternas terminales, y esto da lugar a una contracción muscular.

p. 248 4. Un neurotransmisor es un compuesto químico liberado por una neurona para influir sobre el potencial de membrana de otra.

p. 251 1. El velocista necesita grandes cantidades de energía en una ráfaga de actividad relativamente corta. Para abastecer esta demanda, los músculos cambian a un metabolismo anaerobio. Este metabolismo no es tan eficiente para la producción de energía como el aerobio, y en su desarrollo también genera residuos ácidos. La obtención de menos energía, sumada a los productos de desecho, contribuye al cansancio. Por el contrario, los corredores de maratón extraen la mayor parte de su energía del metabolismo aerobio, que es más eficiente y no origina el mismo nivel de residuos que el anaerobio.

p. 251 2. Las personas que por naturaleza rinden más en el tipo de actividades de resistencia, como el ciclismo o las carreras de maratón, tienen un mayor porcentaje de fibras musculares de contracción lenta, cuya adaptación fisiológica a esta clase de actividad es mejor que en el caso de las fibras de contracción rápida, menos vascularizadas y que se cansan antes.

p. 251 3. Depende del número de ramificaciones que tengan las motoneuronas. Si la cantidad de ramas (colaterales) es menor, únicamente se activan unas pocas motoneuronas.

p. 251 4. El reclutamiento es el ascenso suave pero continuo de la tensión muscular debido al incremento experimentado en el número de unidades motoras activas.

p. 256 1. Es un músculo largo que flexiona las articulaciones de los dedos.

p. 256 2. Cada músculo tiene su comienzo en un origen, al que se considera específicamente fijo, y acaba en una inserción, que es la parte del músculo que se desplaza durante la contracción.

p. 256 3. Un sinérgico se contrae como medio que contribuye con el músculo principal a efectuar una acción específica.

p. 256 4. *Mayor* se emplea para describir los músculos que son más grandes, mientras que *menor* sirve para describir los más pequeños.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** A	**3.** B	**4.** C
5. C	**6.** A	**7.** C	**8.** D
9. B	**10.** C		

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. D

3. C

4. C

5. *Recto* significa «derecho», y se refiere a músculos paralelos, cuyas fibras por regla general siguen el eje longitudinal del cuerpo. A los músculos que son visibles desde la superficie corporal a menudo se les denomina *externos*. Un músculo cuyo término contenga la expresión *flexor* señala que la flexión es una de sus funciones principales. El nombre *trapecio* indica la forma del músculo.

6. Un impulso nervioso llega al botón terminal de la sinapsis neuromuscular y hace que se vierta acetilcolina a la hendidura sináptica. A continuación, las moléculas liberadas se unen a los receptores de la superficie del sarcolema, lo que pone en marcha un cambio en el potencial local de membrana. Esta variación da lugar a la generación de señales eléctricas que recorren toda la superficie del sarcolema.

7. Los tejidos conjuntivos unen los músculos estriados entre sí y los fijan a otras estructuras. Hay tres capas concéntricas de tejido conjuntivo. La capa externa, o epimisio, rodea a todo el músculo. La capa intermedia, o perimisio, los divide en una serie de compartimentos internos, cada uno de los cuales lleva un haz de fibras musculares; estos compartimentos se denominan fascículos. La capa interna, o endomisio, rodea a cada fibra muscular estriada y forma una unión con su vecina.

8. Una unidad motora integrada por 1.500 fibras participaría en movimientos potentes y amplios. Cuanto mayor sea su número de fibras, más potente será la contracción y menor el grado de control que ejerza.

9. En la zona de solapamiento, los filamentos finos se meten entre los gruesos. Es esta la región donde sucede la interacción entre los filamentos gruesos y los finos para formar los puentes cruzados, de manera que pueda ocurrir la contracción y generarse tensión.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Si una motoneurona no estimula un músculo con regularidad, este último perderá tono y masa, y se debilitará (atrofia). Durante el plazo en que Tom tuvo la pierna inmovilizada, no recibió suficiente estimulación para mantener el tono adecuado. El músculo tardará un tiempo en reconstruirse antes de sostener su peso.

2. El levantamiento de un peso exige disponer de una resistencia anaerobia. Los estudiantes querrían obtener unas fibras rápidas que alcancen su fuerza máxima a corto plazo. Esto podría lograrse si se entregaran a actividades constituidas por ejercicios frecuentes, breves pero intensivos, como los que ofrecen las máquinas de resistencia progresiva. La estimulación insistente y repetida servirá para que las fibras rápidas adquieran más mitocondrias y una concentración más alta de enzimas glucolíticas, además de aumentar el tamaño y la fuerza del músculo (hipertrofia).

3. Las biopsias musculares se emplean para determinar el porcentaje relativo de fibras musculares rojas y blancas que hay en los músculos de la pierna. Una persona con un porcentaje más alto de músculos blancos tiene mayores opciones de ser un buen velocista que si fuera de músculo rojo. A la inversa, si es alto el porcentaje de músculo rojo, son mayores las opciones de ser un buen corredor de fondo que si lo fuera de músculo blanco.

CAPÍTULO 10

Verificación de conceptos

p. 271 1. Los músculos de la expresión facial tienen su origen en la superficie del cráneo.

p. 271 2. Los músculos de la masticación mueven la mandíbula en la articulación temporomandibular para realizar esta acción.

p. 271 3. La contracción de los músculos extraoculares hace que el ojo mire en sentido superior, en sentido inferior, rote en sentido lateral, en sentido medial, rote y mire en sentido superolateral o rote y mire en sentido inferolateral.

p. 271 4. Los músculos de la faringe son importantes para poner en marcha la deglución.

p. 281 1. La alteración de los músculos intercostales externos va a interferir el proceso de la respiración.

p. 281 2. Un golpe en el músculo recto del abdomen hará que se contraiga con energía, lo que provocaría la flexión del tronco. Dicho con otras palabras, lo «doblaría».

p. 281 3. Los músculos del diafragma pélvico cumplen las siguientes funciones: 1) sostienen los órganos de la cavidad pélvica; 2) flexionan las articulaciones del sacro y el cóccix, y 3) controlan el paso de las sustancias a través de la uretra y el ano.

p. 281 4. El diafragma es un músculo fundamental en la respiración.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. H	**2.** D	**3.** A	**4.** I
5. F	**6.** B	**7.** J	**8.** E
9. C	**10.** G	**11.** B	**12.** B
13. A	**14.** B	**15.** C	**16.** A
17. C	**18.** B	**19.** A	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. A

3. B

4. C

5. Aparte de utilizar los músculos flexores, el tronco puede recibir la ayuda de la gravedad para desplazarse hacia adelante. La mayoría de la masa del cuerpo ocupa la parte anterior a la columna vertebral, lo que simplifica la realización de los movimientos hacia adelante.

6. Todos los músculos extrínsecos e intrínsecos de la lengua participan en diversos aspectos del proceso de deglución. Estos músculos controlan la posición del bolo alimenticio sobre la lengua, y lo colocan correctamente para poner en marcha esta función.

7. La contracción del oblicuo interno lleva a cabo las siguientes actividades: comprime el abdomen; desciende las costillas; y flexiona la columna vertebral, la inclina hacia un lado o la rota.

8. Los músculos anteriores del cuello controlan la posición de la laringe, descienden la mandíbula, tensan el suelo de la boca y ofrecen una base estable para los músculos de la lengua y de la faringe.

9. El diafragma es un músculo fundamental en la respiración. Forma parte de la musculatura de la cabeza y el tronco por su vinculación embrionaria con otros músculos de la pared torácica.

10. Estos músculos son los de los grupos erector de la columna y multífido, así como el esternocleidomastoideo. Todos estos músculos controlan la posición de la cabeza, mediante el mantenimiento involuntario de su postura y su movimiento voluntario.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Los músculos del triángulo anal forman la cara posterior del periné, una estructura cuyos límites quedan establecidos por los bordes inferiores de la pelvis. Una hoja muscular, el diafragma pélvico, constituye la base del triángulo anal, y sigue un trayecto hacia adelante por encima del diafragma urogenital hasta insertarse por su extremo anterior en la cara posterior de la sínfisis del pubis. En esta región, un músculo esfínter rodea el orificio del ano.

2. La contracción de los músculos frontal y procero hace que Mary alce las cejas y frunza la frente (frontal), además de mover la nariz y cambiar la posición y la forma de las narinas. La elevación de las cejas y la dilatación de las narinas manifiestan una cierta preocupación ante este encuentro.

CAPÍTULO 11

Verificación de conceptos

p. 290 1. Los músculos del manguito de los rotadores son el supraespinoso, el infraespinoso, el subescapular y el redondo menor. Sus tendones sirven para rodear y estabilizar la articulación del hombro.

p. 290 2. El músculo con forma de abanico, que se inserta a lo largo de la parte anterior del borde vertebral de la escápula, es el músculo serrato anterior.

p. 290 3. El músculo deltoides es el principal abductor de la articulación del hombro.

p. 290 4. Los músculos redondo mayor y dorsal ancho producen la extensión, aducción y rotación medial en el hombro.

p. 297 1. La lesión del músculo flexor cubital del carpo impediría la flexión y la aducción en la muñeca.

p. 297 2. Los músculos pronador redondo y supinador se originan en el húmero y en el antebrazo. Su acción rota el radio sin flexionar ni extender el codo.

p. 297 3. Los tendones que atraviesan las caras dorsal y ventral de la muñeca van dentro de vainas tendinosas, unas bolsas alargadas que reducen el rozamiento.

p. 297 4. El espesamiento de la fascia del antebrazo en la cara posterior de la muñeca es el retináculo extensor.

p. 314 1. La lesión de los músculos obturadores interferiría la capacidad de realizar la rotación lateral de la cadera.

p. 314 2. Los isquiotibiales designan un grupo de tres músculos que en conjunto sirven para flexionar la rodilla. Se trata de los músculos bíceps femoral, semimembranoso y semitendinoso.

p. 314 3. Los músculos pectíneo y grácil pertenecen al grupo de músculos aductores que mueven el muslo.

p. 314 4. En conjunto, los extensores de la rodilla reciben el nombre de cuádriceps femoral.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** K	**3.** I	**4.** G
5. J	**6.** D	**7.** F	**8.** B
9. E	**10.** H	**11.** A	**12.** B
13. B	**14.** B	**15.** D	**16.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. D

3. D

4. B

5. El bíceps braquial ejerce su acción sobre la articulación del hombro (flexión), la articulación del codo (flexión) y la articulación radiocubital (supinación, también llamada rotación lateral o externa).

6. El músculo que se hipertrofia mucho en los bailarines de ballet como respuesta a la necesidad de efectuar la flexión y abducción de la cadera, y que mantiene la rodilla por su parte lateral, es el tensor de la fascia lata.

7. Los músculos que están más implicados son los aductores del muslo, que se estiran cuando la extremidad inferior está apoyada sobre la cadera y el tendón calcáneo. También pueden extenderse otros músculos como el grupo isquiotibial, en la parte posterior del muslo, sobre todo si el bailarín se inclina hacia adelante sobre la barra.

8. Los músculos intrínsecos de la mano participan en el control fino de su movimiento y el de los dedos.

9. El tensor de la fascia lata y el glúteo mayor tiran del tracto iliotibial, una banda de fibras colágenas que ofrece un refuerzo lateral a la rodilla. Esto cobra una importancia especial cuando una persona se mantiene en equilibrio sobre un pie.

10. Estas hojas de tejido conjuntivo que rodean la articulación de la muñeca y del tobillo actúan como un brazalete y una tobillera, y permiten que los tendones de los extensores y flexores largos de la mano y el pie sigan un trayecto interno a ellas. Por tanto, los mantienen cerca de la superficie de la extremidad y de esta forma consiguen modificar la posición con la que actúan, con el fin de cambiar la postura de la mano y del pie.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Los músculos intrínsecos de la mano permiten el uso de la pinza de precisión para realizar los pequeños movimientos empleados al trazar las letras o cualquier signo preciso con el instrumento de escritura. Sin embargo, los músculos grandes del brazo lo mantienen en su posición más adecuada para escribir o dibujar.

2. Probablemente Jerry se lesionó el semimembranoso o el semitendinoso, pues ambos tienen una participación primordial en la acción que le causa problemas.

3. Aunque el músculo pectoral atraviesa el tórax en su trayecto, se inserta en el tubérculo mayor del húmero, el gran hueso del brazo. Al contraerse, contribuye a la flexión, aduc-

ción y rotación medial del húmero en la articulación del hombro. Todos estos movimientos del brazo estarían parcialmente alterados ante una lesión del músculo.

CAPÍTULO 13

Verificación de conceptos

p. 349 1. Las dos subdivisiones anatómicas del sistema nervioso son el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico.

p. 349 2. Las células de soporte del tejido nervioso se llaman células gliales o neuroglia.

p. 349 3. Los astrocitos ayudan a mantener la barrera hematoencefálica.

p. 349 4. Los oligodendrocitos producen una cubierta membranosa que envuelve los axones y se denomina mielina.

p. 349 5. En el sistema nervioso periférico, las células de Schwann forman una cubierta de mielina alrededor de los axones.

p. 352 1. Las neuronas sensitivas del sistema nervioso periférico son generalmente pseudounipolares; por tanto, este tejido está asociado con más probabilidad con un órgano sensitivo.

p. 352 2. Las células microgliales son pequeñas células fagocíticas que se encuentran en mayor número en las áreas de lesión y enfermas del SNC.

p. 353 1. Seccionar el axón de una neurona evita la transmisión del impulso nervioso a lo largo de la longitud del mismo.

p. 353 2. Las fibras mielinizadas conducen los potenciales de acción mucho más rápido que las fibras no mielinizadas, de modo que el axón que conduce a 50 m/s está mielinizado.

p. 353 3. La excitabilidad es la capacidad de una membrana celular para conducir impulsos eléctricos.

p. 353 4. Los cambios del potencial transmembrana que se conducen se llaman potenciales de acción.

p. 357 1. Una sinapsis puede ser vesicular, que incluye una sustancia neurotransmisora, o bien no vesicular, con uniones *gap* (con espacios de comunicación) que proporcionan un contacto físico directo entre las células.

p. 357 2. Las sinapsis excitatorias promueven la generación de impulsos nerviosos en la célula postsináptica, mientras que las sinapsis inhibitorias se oponen a la generación de impulsos nerviosos en la célula postsináptica.

p. 357 3. La divergencia es la diseminación de la información de una neurona a varias neuronas, o de un grupo a múltiples grupos. La convergencia ocurre cuando varias neuronas hacen sinapsis con la misma neurona postsináptica, o varios grupos neuronales hacen sinapsis en un grupo neuronal.

p. 357 4. Un centro es una colección de cuerpos celulares neuronales con una función común. Los haces de axones del SNC que comparten un origen, destino y función común se llaman tractos. Los centros y tractos que conectan el encéfalo con el resto del cuerpo se llaman vías.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** J	**3.** H	**4.** E
5. B	**6.** I	**7.** F	**8.** D
9. A	**10.** G	**11.** B	**12.** D
13. D	**14.** A	**15.** C	**16.** B
17. B	**18.** D	**19.** C	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. B

3. C

4. Las colaterales permiten que una única neurona se comunique con varias células más al mismo tiempo.

5. Los exteroceptores proporcionan información acerca del entorno externo en forma de tacto, temperatura, presión, vista, olfato, audición y gusto. Los interoceptores controlan el sistema digestivo, respiratorio, cardiovascular, urinario y reproductor, y proporcionan información sensitiva en relación con el gusto, la presión profunda y el dolor.

6. La barrera hematoencefálica resulta necesaria para aislar el tejido nervioso de la circulación general, debido a que las hormonas u otro tipo de sustancias químicas, normalmente presentes en la sangre, podrían tener efectos perjudiciales sobre la función neuronal.

7. El SNC es responsable de la integración, procesamiento y coordinación de los datos sensitivos y las órdenes motoras. También es asiento de las funciones superiores, como la inteligencia, la memoria, el aprendizaje y la emoción. El SNP proporciona información sensitiva al SNC y lleva órdenes motoras a los tejidos y sistemas periféricos.

8. El sistema nervioso somático controla las contracciones musculares esqueléticas, que pueden ser voluntarias o involuntarias. El sistema nervioso autónomo regula la actividad del músculo liso y el músculo estriado y la actividad glandular, generalmente fuera de nuestra percepción o control conscientes.

9. Una sinapsis no vesicular es un transportador más eficaz de los impulsos que una sinapsis vesicular, porque las dos células están conectadas por uniones *gap* y funcionan como si compartieran una membrana plasmática común. Sin embargo, las sinapsis vesiculares son más versátiles porque la membrana neuronal puede estar influenciada simultáneamente por estímulos excitatorios e inhibitorios. La membrana celular de una sinapsis no vesicular simplemente pasa la señal de una célula a otra, mientras que una sinapsis vesicular integra la información que llega a través de múltiples sinapsis.

10. En el procesamiento en serie, la información puede transmitirse en una secuencia escalonada, de una neurona a otra o de un grupo neuronal al siguiente. El procesamiento en paralelo se produce cuando varias neuronas o grupos neuronales están procesando la misma información al tiempo.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Los potenciales de acción viajan más rápidamente a lo largo de las fibras mielinizadas que a lo largo de las fibras no mielinizadas. La destrucción de la vaina de mielina enlentece el tiempo que lleva a las neuronas comunicarse con sus músculos efectores. Este retraso en la respuesta da lugar a diferentes grados de incoordinación de la actividad muscular. La situación es muy similar a la de un recién nacido; el lactante no puede controlar sus brazos y piernas muy bien porque las vainas de mielina aún se están depositando durante el primer año. Puesto que no todas las neuronas motoras para el mismo músculo pueden estar desmielinizadas en el mismo grado, algunas fibras son lentas en responder mientras que otras responden normalmente, produciendo contracciones que son erráticas y poco controladas.

2. En el proceso conocido como degeneración walleriana, los axones distales al sitio de la lesión se deterioran y los macrófagos migran para fagocitar los detritos. Las células de Schwann del área se dividen y forman un cordón celular sólido que sigue la vía del axón original. A medida que la neurona se recupera, su axón crece en el lugar de la lesión y las células de Schwann lo envuelven. Si el axón continúa creciendo en la periferia al lado del cordón apropiado de células de Schwann, finalmente restablecerá los contactos sinápticos normales. Si deja de crecer o si se desvía en una nueva dirección, la función normal no volverá.

3. No, el padre de Eve no está totalmente en lo cierto. Para tratar la enfermedad de Eve, cualquier medicación que se utilice tendrá que pasar la barrera hematoencefálica. Se necesitarán altas dosis de antibióticos para facilitar su paso a través de la barrera hematoencefálica.

CAPÍTULO 14

Revisión de conceptos

p. 365 1. La raíz ventral de un nervio espinal está compuesta por fibras motoras viscerales y somáticas. La lesión de esta raíz interferiría con las funciones motoras.

p. 365 2. El líquido cefalorraquídeo que rodea la médula espinal se encuentra en el espacio subaracnoideo, que se sitúa entre la aracnoides y la piamadre.

p. 365 3. Las dos intumescencias medulares son la intumescencia cervical y la intumescencia lumbosacra. Estas regiones son de mayor tamaño debido al mayor número de cuerpos celulares neuronales en la sustancia gris aquí. Estos segmentos de la médula espinal están relacionados con la inervación de los miembros.

p. 365 4. Cada ganglio de la raíz dorsal contiene los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas.

p. 369 1. Puesto que el poliovirus se localizaría en las neuronas motoras somáticas, lo encontraríamos en las astas grises anteriores de la médula espinal donde se localizan los cuerpos celulares de estas neuronas.

p. 369 2. La sustancia blanca se organiza en columnas (anteriores, laterales y posteriores) alrededor de la periferia de la médula espinal.

p. 369 3. Las proyecciones de la sustancia gris hacia la superficie de la médula espinal se llaman astas.

p. 369 4. Los tractos ascendentes llevan la información sensitiva hacia el encéfalo. Los tractos descendentes llevan las órdenes motoras en la médula espinal.

p. 376 1. Los nervios frénicos que inervan el diafragma se originan en el plexo cervical. La lesión de este plexo cervical o, más específicamente, de los nervios frénicos, inter-

feriría grandemente con la capacidad para respirar y, posiblemente, daría lugar a la muerte por asfixia.

p. 376 2. La capa más externa es el epineuro. Rodea todo el nervio. La capa media, o perineuro, divide el nervio en una serie de compartimentos que contienen haces de axones. Un único haz se llama fascículo. El endoneuro es la capa más interna, y rodea los axones individuales.

p. 376 3. Los ramos blancos y grises conectan el nervio espinal con un ganglio autónomo cercano. El ramo blanco lleva los axones preganglionares que están mielinizados desde el nervio hasta el ganglio. El ramo gris lleva axones postganglionares no mielinizados desde el ganglio de nuevo hasta el nervio espinal.

p. 376 4. Puede haberse dañado el plexo braquial.

p. 383 1. Un reflejo es una respuesta motora involuntaria inmediata a un estímulo específico.

p. 383 2. 1) Llegada de un estímulo y activación de un receptor. 2) Transmisión de la información al SNC. 3) Procesamiento de la información. 4) Activación de una neurona motora en el SNC. 5) Respuesta de un efector periférico.

p. 383 3. Un reflejo monosináptico tiene una neurona sensitiva que hace sinapsis directamente con una neurona motora. Un reflejo polisináptico tiene más de una sinapsis entre el estímulo y la respuesta.

p. 383 4. Los reflejos se clasifican de acuerdo con: 1) su desarrollo; 2) la localización donde se produce el procesamiento de la información; 3) la naturaleza de la respuesta motora resultante, o 4) la complejidad del circuito nervioso implicado.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. D	**2.** I	**3.** A	**4.** G
5. B	**6.** C	**7.** J	**8.** F
9. H	**10.** E	**11.** B	**12.** C
13. C	**14.** D	**15.** D	**16.** D
17. B	**18.** D	**19.** A	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. D

3. A

4. Las meninges proporcionan una cubierta protectora resistente, estabilidad física longitudinal y un espacio para un líquido que absorbe los impactos.

5. Un reflejo es una respuesta motora involuntaria inmediata, mientras que el movimiento motor voluntario está bajo control consciente y es voluntario.

6. Se alteraría la información sensitiva entrante.

7. La transmisión de la información entre las neuronas en las sinapsis lleva una cantidad de tiempo finita. Por tanto, cuantas más sinapsis existan en un reflejo, mayor será el retraso entre el estímulo y las respuestas. En un reflejo monosináptico únicamente existe una sinapsis. Tiene el tiempo de respuesta más rápido. En un reflejo polisináptico existen múltiples sinapsis y cada una de ellas contribuye al retraso global.

8. En la región cervical, el primer par de nervios espinales C_1 sale entre el cráneo y la primera vértebra cervical. A partir de este, cada nervio espinal cervical numerado sale después de cada vértebra cervical. Por ejemplo, el nervio C_2 sale después de la vértebra C_1, el nervio C_3 sale después de la vértebra C_2, y así sucesivamente hasta el nervio C_8 que sale después de la vértebra C_7.

9. Los ligamentos dentados evitan los movimientos de un lado a otro de la médula espinal.

10. La médula espinal del adulto se extiende únicamente hasta la vértebra L_1 o L_2. Por debajo de este punto en el canal vertebral, las capas meníngeas envuelven los componentes relativamente resistentes de la cola de caballo y una cantidad significativa de LCR.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El músculo recto del abdomen siempre se retrae lateralmente, ya que está inervado por T_7-T_{12}, que entran a través de la cara posterior a lo largo de su borde lateral. Si el músculo se retrajera medialmente, los nervios se desgarrarían, paralizando por ello el músculo.

2. La parte de la médula que está comprimida con más probabilidad es un tracto ascendente.

3. Las neuronas del asta anterior de la médula espinal son neuronas motoras somáticas que dirigen la actividad de los músculos estriados. Los segmentos lumbares de la médula espinal controlan los músculos estriados que están implicados en el control de la cadera y el miembro inferior. Como resultado de la lesión, Karen tendría un mal control de la mayoría de los músculos del miembro inferior, problemas para caminar (en el caso de que pudiera caminar) y (si pudiera permanecer de pie) problemas para mantener el equilibrio.

CAPÍTULO 15

Verificación de conceptos

p. 389 1. Las seis divisiones principales del encéfalo adulto son el cerebro, el diencéfalo, el mesencéfalo o cerebro medio, la protuberancia, el cerebelo y el bulbo raquídeo.

p. 389 2. Las tres estructuras principales del tronco del encéfalo son el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo.

p. 389 3. Los ventrículos son cámaras llenas de líquido en el interior del telencéfalo, el diencéfalo, el metencéfalo y la porción superior del mielencéfalo. Los ventrículos están recubiertos por células ependimarias.

p. 389 4. Las vesículas encefálicas secundarias y las regiones del encéfalo asociadas con cada una al nacimiento son el telencéfalo (cerebro), diencéfalo (epitálamo, tálamo e hipotálamo), mesencéfalo (cerebro medio), metencéfalo (cerebelo y protuberancia) y mielencéfalo (bulbo raquídeo).

p. 395 1. Las cuatro extensiones de la duramadre son la hoz del cerebro, la tienda del cerebelo, la hoz del cerebelo y el diafragma de la silla.

p. 395 2. La piamadre es una membrana muy vascularizada, compuesta principalmente de tejido conjuntivo areolar. Actúa como suelo para sostener los grandes vasos sanguíneos cerebrales cuando se ramifican sobre la superficie del encéfalo, invadiendo los contornos del tejido nervioso para irrigar las áreas superficiales de la corteza nerviosa.

p. 395 3. La barrera hematoencefálica funciona aislando el SNC de la circulación general.

p. 395 4. El líquido cefalorraquídeo (LCR) tiene varias funciones: almohadillado de las delicadas estructuras nerviosas; sostén del encéfalo; y transporte de nutrientes, mensajeros químicos y productos de desecho. El LCR es producido por el plexo coroideo, una combinación de células ependimarias especializadas y capilares permeables del recubrimiento ventricular.

p. 404 1. El lóbulo frontal contiene la corteza motora primaria para las actividades motoras voluntarias. Además contiene la corteza prefrontal, que integra la información y lleva a cabo funciones intelectuales abstractas. El lóbulo parietal contiene la corteza sensitiva primaria, que recibe la información sensitiva somática. El lóbulo occipital contiene la corteza visual para la percepción consciente de los estímulos visuales. El lóbulo temporal contiene la corteza auditiva y la corteza olfatoria para la percepción consciente de los estímulos auditivos y olfatorios.

p. 404 2. Las circunvoluciones son las crestas elevadas en la superficie del cerebro. Los surcos son las depresiones poco profundas que separan las circunvoluciones vecinas.

p. 404 3. Los tres grupos principales de axones de la sustancia blanca son: 1) fibras de asociación, tractos que interconectan las áreas de la corteza nerviosa de un mismo hemisferio cerebral; 2) fibras comisurales, tractos que conectan los dos hemisferios cerebrales, y 3) fibras de proyección, tractos que conectan el cerebro con otras regiones del encéfalo y la médula espinal.

p. 410 1. Los cambios de temperatura corporal estimularían el área preóptica del hipotálamo, una división del diencéfalo.

p. 410 2. El tálamo coordina las actividades motoras somáticas a nivel consciente y subconsciente.

p. 410 3. El epitálamo posterior contiene la glándula pineal que secreta melatonina.

p. 410 4. El hipotálamo produce y secreta dos hormonas: hormona antidiurética, producida por el núcleo supraóptico, y oxitocina, producida por el núcleo paraventricular.

p. 415 1. El vermis y el árbol de la vida son estructuras asociadas con el cerebelo.

p. 415 2. El bulbo raquídeo es pequeño, pero contiene muchos centros reflejos vitales, incluyendo los que controlan la respiración y regulan el corazón y la presión arterial. La lesión del bulbo raquídeo puede dar lugar a un cese de la respiración, o a cambios en la frecuencia cardíaca y la presión arterial, que son incompatibles con la vida. En cambio, la lesión de una pequeña región del cerebro puede afectar un área/función específica. No sería mortal.

p. 415 3. Estos núcleos, llamados en conjunto tubérculos cuadrigéminos, son estaciones de relevo relacionadas con el procesamiento de la sensibilidad visual y auditiva.

p. 415 4. Los movimientos voluntarios se vuelven dubitativos y entrecortados. Puede aparecer un temblor continuo de reposo.

p. 427 1. El nervio craneal responsable de los movimientos de la lengua es el nervio hipogloso.

p. 427 2. Puesto que el abducens (N VI) controla los movimientos laterales de los ojos, esperaríamos que un individuo con una lesión de este nervio fuera incapaz de mover los ojos lateralmente.

p. 427 3. El nervio vestibulococlear (N VIII) está relacionado con el equilibrio. La rama sería la rama vestibular.

p. 427 4. El nervio facial (N VII) está relacionado con la detección sensorial del sabor.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** H	**3.** J	**4.** F
5. E	**6.** A	**7.** D	**8.** B
9. G	**10.** I	**11.** B	**12.** A
13. D	**14.** D	**15.** A	**16.** B
17. D	**18.** C	**19.** D	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. B

2. A

3. B

4. La lesión se habría producido en la corteza premotora del lóbulo frontal.

5. Los impulsos de los propioceptores deben pasar a través de los núcleos olivares en su camino hacia el cerebelo.

6. Los núcleos implicados en el movimiento coordinado de la cabeza en la dirección de un sonido intenso son los colículos inferiores.

7. Los nervios craneales que participan colectivamente en la función ocular son el II, III, IV, V y VI.

8. La persona podría tener una lesión del sistema límbico.

9. La protuberancia proporciona conexiones entre los hemisferios cerebelosos y el mesencéfalo, el diencéfalo, el cerebro y la médula espinal.

10. Una barrera hematoencefálica menos intacta sugiere que el endotelio es extremadamente permeable. Esta permeabilidad expone los núcleos hipotalámicos a las hormonas circulantes y permite la difusión de las hormonas hipotalámicas a la circulación.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El líquido cefalorraquídeo se está acumulando dentro del cráneo del niño, haciendo que los huesos del cráneo, que aún no se han fusionado, se expandan en cierto modo en las suturas. Puesto que las vellosidades aracnoideas, que generalmente sirven para drenar el LCR, no se desarrollan hasta que el niño alcanza los 3 años de edad, tiene que colocarse un drenaje para reducir la cantidad de líquido retenido en el cráneo. Este drenaje se llama derivación, y se vacía más frecuentemente a las venas yugulares.

2. El trastorno es una parálisis de Bell y está causada por una inflamación del nervio facial. El problema se distingue fácilmente de la neuralgia del trigémino, debido a que generalmente es indoloro y desaparece por sí mismo en unos pocos días o semanas.

3. La persona podría tener una hemorragia epidural, una lesión extremadamente seria que ocurre cuando una arteria –uno de los vasos meníngeos– se rompe y permite que la sangre escape hacia el espacio epidural. Dependiendo del tamaño de la brecha, puede entrar más o menos sangre en el espacio y a diferente velocidad. Estas lesiones causan la muerte en el 100% de los casos no tratados y, aproximadamente, en el 50% de los casos tratados, porque el encéfalo puede dañarse por compresión y por deprivación de la irrigación normal antes de que se descubra el problema.

CAPÍTULO 16

Verificación de conceptos

p. 441 1. El fascículo grácil de la columna posterior de la médula espinal es responsable de llevar la información acerca del tacto y la presión, desde la parte inferior del cuerpo hasta el encéfalo.

p. 441 2. La base anatómica de que el control motor se produzca sobre el lado opuesto es que ocurre un cruzamiento (decusación), y las fibras motoras corticoespinales inervan las neuronas motoras inferiores del lado contrario del cuerpo.

p. 441 3. La porción superior de la corteza motora controla el miembro superior y la porción superior del miembro inferior. Una lesión de esta área afectaría la capacidad para controlar los músculos de esas regiones del cuerpo.

p. 441 4. (a) Tractos tectoespinales, (b) tractos vestibuloespinales.

p. 446 1. Una incapacidad para comprender la palabra escrita o hablada indica un problema en el área interpretativa general del encéfalo, que en la mayoría de los individuos se localiza en el lóbulo temporal izquierdo del cerebro.

p. 446 2. La dificultad para hablar indica que está afectado el centro del habla, también llamado área de Broca.

p. 446 3. La consolidación de la memoria es la conversión de la memoria a corto plazo en memoria a largo plazo.

p. 446 4. La corteza prefrontal hace predicciones acerca de fenómenos futuros.

p. 448 1. El sistema activador reticular (SAR) es responsable de despertar el cerebro hasta un estado de consciencia. Si fuera estimulado el SAR de un individuo dormido, ciertamente se despertaría.

p. 448 2. El encéfalo se afecta con la edad. Algunos cambios anatómicos frecuentes del SNC relacionados con la edad son: 1) reducción del tamaño y el peso del encéfalo; 2) pérdida de neuronas corticales; 3) reducción del flujo sanguíneo al encéfalo debido a la acumulación de depósitos grasos; 4) disminución del número y la organización de las ramificaciones dendríticas y las conexiones sinápticas, y 5) acumulación anormal de depósitos intercelulares, incluyendo placas y ovillos neurofibrilares.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. H	**2.** E	**3.** A	**4.** K
5. B	**6.** F	**7.** C	**8.** I
9. J	**10.** D	**11.** G	**12.** A
13. D	**14.** D	**15.** B	**16.** B
17. D	**18.** C	**19.** C	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. A

2. D

3. B

4. B

5. La neurona de primer orden es la neurona sensitiva que lleva la sensibilidad al SNC.

6. El homúnculo sensitivo está distorsionado porque el área de la corteza sensitiva destinada a una región particular es proporcional no a su tamaño absoluto, sino más bien al número de receptores sensitivos que contiene la región.

7. Los núcleos cerebrales son centros de procesamiento que proporcionan patrones basales de movimiento implicados en la ejecución de las actividades motoras voluntarias.

8. Los sistemas piramidal y extrapiramidal funcionan eficazmente cuando sus eferencias son reajustadas continuamente a medida que se produce el movimiento. El cerebelo lleva a cabo el procesamiento y la integración complejos de la información nerviosa a partir de las estructuras periféricas, la información visual desde los ojos y la sensibilidad relacionada con el equilibrio desde el oído interno.

9. El centro del habla, o área de Broca, se sitúa a lo largo del borde de la corteza premotora del mismo hemisferio (izquierdo) que el área interpretativa general.

10. Los tractos vestibuloespinales dirigen la regulación involuntaria del equilibrio en respuesta a las sensaciones del oído interno. Los tractos reticuloespinales dirigen la regulación involuntaria de la actividad refleja y las funciones autónomas.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El problema en la médula espinal de Cindy probablemente se localiza en el tracto espinotalámico lateral del lado derecho, en algún punto alrededor del nivel del segmento medular L_2. Para hacerse una idea de esto, necesitarías determinar: 1) qué tracto lleva la información sensitiva desde el miembro inferior; 2) dónde se decusa, y 3) qué segmentos medulares inervan la cadera y el miembro inferior, como se detalla en la ilustración de los dermatomas en el capítulo 14 (v. figura 14.8).

2. La persona de esta pregunta ha tenido un ictus, o accidente cerebrovascular (ACV). Los síntomas indican que la arteria lesionada era la arteria cerebral media del lado izquierdo del encéfalo.

CAPÍTULO 17

Verificación de conceptos

p. 452 1. Las neuronas preganglionares tienen sus cuerpos celulares en el SNC y sus axones se extienden hasta los ganglios del SNP; las neuronas ganglionares tienen sus cuerpos celulares en los ganglios del SNP y sus axones inervan las células efectoras.

p. 452 2. La división simpática (división toracolumbar) y la división parasimpática (división craneosacra).

p. 452 3. La noradrenalina es el neurotransmisor liberado por la mayoría de las terminaciones simpáticas postganglionares.

p. 452 4. El músculo cardíaco en el corazón y el músculo liso, las glándulas y los tejidos adiposos en todos los órganos periféricos.

p. 460 1. Las neuronas que hacen sinapsis en los ganglios colaterales se originan en la región torácica inferior y lumbar superior de la médula espinal, y atraviesan los ganglios de la cadena simpática sin hacer sinapsis antes de alcanzar los ganglios colaterales.

p. 460 2. Bloquear los receptores beta de las células disminuiría o evitaría la estimulación simpática de esos tejidos. Esto daría lugar a una reducción de la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción y a relajación del músculo liso de las paredes; la combinación bajaría la presión arterial.

p. 460 3. Los ganglios de la cadena simpática (ganglios paravertebrales) están laterales a cada lado de la columna vertebral. Los ganglios colaterales (ganglios prevertebrales) son anteriores a la columna vertebral.

p. 462 1. El neurotransmisor es acetilcolina.

p. 462 2. Receptores nicotínicos y receptores muscarínicos.

p. 462 3. Estos ganglios se localizan en los tejidos de sus órganos diana.

p. 462 4. 1) La extensa divergencia de las fibras preganglionares en la división simpática distribuye las eferencias simpáticas a muchos órganos y tejidos viscerales diferentes simultáneamente, y 2) la liberación de A y NA por las médulas suprarrenales influye sobre los tejidos y órganos de todo el cuerpo.

p. 467 1. La inervación dual significa que la mayoría de los órganos vitales reciben instrucciones de ambas divisiones, simpática y parasimpática.

p. 467 2. Los reflejos viscerales son las unidades funcionales más sencillas del sistema nervioso autónomo. Proporcionan respuestas motoras automáticas que pueden ser modificadas, facilitadas o inhibidas por los centros superiores, especialmente los del hipotálamo.

p. 467 3. El plexo celíaco, el plexo mesentérico inferior y el plexo hipogástrico.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** G	**3.** H	**4.** D
5. I	**6.** A	**7.** E	**8.** J
9. B	**10.** F	**11.** D	**12.** B
13. C	**14.** D	**15.** D	**16.** C
17. B	**18.** C	**19.** B	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. A

3. B

4. D

5. No existen enzimas que degraden la adrenalina y noradrenalina en la sangre, y muy pocas en los tejidos periféricos.

6. La división parasimpática inerva sólo estructuras viscerales cubiertas por algunos nervios craneales, o que se sitúan en la cavidad torácica y/o abdominopélvica. La división simpática tiene un amplio impacto debido a la extensa ramificación colateral de las fibras preganglionares, que alcanzan los órganos y tejidos viscerales de todo el cuerpo.

7. La distribución de las fibras colinérgicas ganglionares simpáticas proporciona un método de regulación de la secreción de las glándulas sudoríparas de la piel.

8. Los ganglios de la cadena simpática están inervados por fibras preganglionares de las regiones toracolumbares de la médula espinal, y están interconectados por las fibras y los axones preganglionares de cada ganglio de la cadena que inerva un segmento corporal particular. Los ganglios colaterales son parte de los plexos autónomos abdominales anteriores a la columna vertebral. Las fibras simpáticas preganglionares inervan los ganglios colaterales como nervios esplácnicos. Los ganglios intramurales (también denominados ganglios terminales) son parte de la división parasimpática. Estos ganglios se localizan cerca de los tejidos de los órganos viscerales o en su interior.

9. La división simpática del SNA estimula el metabolismo, incrementa el estado de alerta y prepara para la emergencia en la «lucha o huida». La división parasimpática promueve la relajación, la captación de nutrientes, el almacenamiento de energía y el «descanso y reposo».

10. Las neuronas motoras viscerales, llamadas neuronas preganglionares, envían sus axones, llamados fibras preganglionares, desde el SNC para hacer sinapsis con las neuronas ganglionares cuyos cuerpos celulares están localizados en ganglios fuera del SNC.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Eliminar la estimulación del estómago por el sistema nervioso autónomo a través del nervio vago reduce la estimulación de las glándulas digestivas, disminuyendo así su secreción. Esto puede disminuir las úlceras en la pared del estómago.

2. El síndrome de Horner está causado por una lesión de la inervación postganglionar simpática de un lado de la cara. Los síntomas, típicamente limitados al lado afectado, incluyen rubor facial, incapacidad para sudar, una pupila del ojo marcadamente contraída, párpados caídos y un aspecto hundido del ojo.

3. Kassie debería tratarse con adrenalina. Esto imitaría una activación simpática que dilata las vías aéreas de los pulmones. La constricción de sus vías respiratorias se aliviaría.

CAPÍTULO 18

Verificación de conceptos

p. 472 1. Las terminaciones nerviosas libres pueden estimularse por sustancias químicas, presión, cambios de temperatura o lesión física.

p. 472 2. Los receptores tónicos siempre están activos, mientras que los receptores fásicos normalmente están inactivos, pero se activan durante un tiempo corto.

p. 472 3. Una sensación es la información sensitiva que llega al SNC.

p. 472 4. La sensibilidad general se refiere a las sensaciones de temperatura, dolor, tacto, presión, vibración y propiocepción.

p. 475 1. Puesto que los nociceptores son los receptores del dolor, si son estimulados, se percibe una sensación de dolor en la mano afectada.

p. 475 2. Los propiorreceptores transmiten información acerca de la posición y el movimiento de los miembros al sistema nervioso central, especialmente al cerebelo. La falta de esta información daría lugar a movimientos descoordinados y el individuo, probablemente, sería incapaz de caminar.

p. 475 3. Las tres clases de mecanorreceptores son los receptores táctiles, los barorreceptores y los propioceptores.

p. 480 1. Existen cuatro sensaciones gustativas primarias: dulce, salado, amargo y agrio.

p. 480 2. Cuando se tiene un resfriado, las moléculas transportadas por el aire no pueden alcanzar los receptores olfatorios y, como consecuencia, las comidas saben sosas y poco atractivas.

p. 480 3. Los receptores gustativos están agrupados en botones gustativos individuales. Las papilas de la lengua contienen botones gustativos.

p. 480 4. La lengua tiene tres tipos de papilas: filiformes, fungiformes y circunvaladas.

p. 486 1. Para proteger el tímpano y los huesecillos de movimientos violentos, se contraen dos pequeños músculos. Estos son el músculo tensor del tímpano y el estapedio.

p. 486 2. Los huesecillos del oído son los tres pequeños huesos que se localizan en el oído medio. Actúan como palancas que transfieren las vibraciones del sonido desde el tímpano hasta una cámara llena de líquido en el oído interno.

p. 486 3. La perilinfa es un líquido cuyas propiedades recuerdan mucho a las del líquido cefalorraquídeo. Llena el espacio entre el laberinto óseo y el membranoso.

p. 486 4. Mover la cabeza diciendo «no» estimula las células pilosas del conducto semicircular membranoso lateral. Esta estimulación es interpretada por el encéfalo como un movimiento de la cabeza.

p. 490 1. Sin el movimiento de la membrana que se extiende sobre la ventana redonda, la perilinfa se movería por la vibración del estribo en la ventana oval, y habría poca o ninguna percepción del sonido.

p. 490 2. La pérdida de estereocilios (como consecuencia de una exposición constante a ruidos intensos, por ejemplo) reduciría la sensibilidad auditiva y finalmente podría dar lugar a sordera.

p. 490 3. El conducto coclear (rampa media) está «emparedado» entre el conducto vestibular (rampa vestibular) y el conducto timpánico (rampa timpánica). Las células pilosas para la audición se localizan en el conducto coclear.

p. 490 4. La membrana tectoria se sitúa sobre las células pilosas del órgano de Corti. Cuando la membrana que contiene estas células pilosas vibra, los estereocilios de las células pilosas se distorsionan y se detecta el sonido.

p. 500 1. Una producción inadecuada de lágrima afectaría primero a la córnea. Puesto que la córnea es avascular, las células de la córnea deben obtener el oxígeno y los nutrientes del líquido lagrimal que pasa sobre su superficie.

p. 500 2. Las dos estructuras más afectadas por una presión intraocular anormalmente elevada son: 1) el conducto de Schlemm (el humor acuoso ya no tiene libre acceso a esta estructura), y 2) el nervio óptico (las fibras nerviosas de esta estructura se distorsionan, lo que afecta a la percepción visual).

p. 500 3. Un individuo nacido sin conos sería capaz de ver sólo en blanco y negro (monocromático), y tendría muy poca agudeza visual.

p. 500 4. Los procesos ciliares son pliegues del epitelio del cuerpo ciliar. El cuerpo ciliar incluye el músculo ciliar, que ayuda a controlar la forma del cristalino para la visión cercana y lejana.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. B	**2.** D	**3.** E	**4.** H
5. J	**6.** C	**7.** I	**8.** F
9. G	**10.** A	**11.** A	**12.** C
13. D	**14.** A	**15.** B	**16.** B
17. C	**18.** B	**19.** C	**20.** C

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. A

2. D

3. C

4. Cada receptor tiene una sensibilidad característica. Por ejemplo, un receptor táctil es muy sensible a la presión, pero relativamente insensible a los estímulos químicos.

5. Cuando los estereocilios de la célula pilosa se desplazan hacia el quinocilio se libera una mayor cantidad de neurotransmisor.

6. Las células pilosas del oído interno actúan como receptores sensoriales.

7. La adaptación sensitiva es una reducción de la sensibilidad en presencia de un estímulo constante. El receptor responde intensamente al principio, pero después la actividad a lo largo de la fibra aferente disminuye gradualmente, en parte debido a la fatiga sináptica.

8. La codificación sensitiva proporciona información acerca de la fuerza, duración, variación y movimiento del estímulo.

9. Un individuo con una lesión de los corpúsculos laminados tendría problemas para sentir la presión directa, como la de un pellizco.

10. El laberinto óseo es una cáscara de hueso denso. Rodea y protege los conductos y cámaras llenos de líquido conocidos como laberinto membranoso.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Al extirpar los pólipos, probablemente se lesionó o destruyó parte del epitelio olfatorio. Esto reduciría la superficie disponible para la detección de moléculas olorosas y, por tanto, la intensidad del estímulo. Como consecuencia, se necesitaría un estímulo más grande para proporcionar el mismo nivel de olfacción después de la cirugía que antes de la cirugía.

2. Jared tiene una infección del oído medio, más a menudo de origen bacteriano, que se encuentra más frecuentemente en niños y lactantes. Los patógenos generalmente consiguen acceder a la cavidad del oído medio a través de la trompa auditiva, que es más corta y está orientada más horizontalmente en los lactantes y los niños que en los adultos, generalmente durante una infección de las vías respiratorias altas. A medida que la infección progresa, la cavidad del oído medio puede llenarse de pus. El incremento de presión en la cavidad del oído medio, finalmente, puede romper el tímpano. Esta enfermedad puede tratarse con antibióticos.

3. Cuando una persona tiene un resfriado, las membranas mucosas de la cavidad nasal y oral se hinchan y pueden taponarse con moco, evitando que las moléculas que forman los olores de los alimentos alcancen el epitelio olfatorio en la cara superior de la cámara olfatoria. Como gran parte de lo que percibimos como sabor es realmente olfato, la disminución del sentido del olfato disminuye el atractivo de los alimentos.

CAPÍTULO 19

Verificación de conceptos

p. 513 1. El hipotálamo es la región del cerebro que se encarga de regular la secreción hormonal hipofisaria.

p. 513 2. Es una célula periférica que responde a la presencia de una hormona determinada. Las hormonas modifican la actividad metabólica celular.

p. 513 3. La neurohipófisis contiene terminaciones axónicas de neuronas cuyos cuerpos celulares se encuentran en el hipocampo. Cuando estas neuronas reciben un estímulo, sus terminaciones axónicas liberan neurosecreciones (oxitocina o ADH). La mayoría de las células endocrinas de la adenohipófisis están controladas por la secreción de factores reguladores hipotalámicos.

p. 518 1. La mayor parte de la hormona tiroidea que circula por la sangre está unida a proteínas, denominadas globulinas, conjugadoras de tiroxina. Esto representa una reserva muy importante de tiroxina que protege contra las fluctuaciones demasiado rápidas en las concentraciones de esta relevante hormona. Por esta forma de almacenamiento, se necesitan varios días para que se agote el suministro de hormona, incluso tras la supresión de la glándula tiroides.

p. 518 2. La supresión de las glándulas paratiroides produciría un descenso de las concentraciones sanguíneas de iones de calcio. Esto puede contrarrestarse aumentando el aporte de vitamina D y calcio en la dieta.

p. 518 3. La región afectada de la glándula es la zona glomerulosa. La hormona deficitaria es la aldosterona.

p. 523 1. Los islotes de Langerhans (también conocidos como islotes pancreáticos) se localizan en el seno del páncreas. Las principales hormonas liberadas por estos son glucagón, insulina y somatostatina.

p. 523 2. Deprime la secreción adenohipofisaria de FSH como parte de un mecanismo de control por retroalimentación negativa. La inhibina es sintetizada por las células de sostén de los testículos y por las células foliculares de los ovarios.

p. 523 3. Las hormonas reproductoras.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** I	**3.** F	**4.** B
5. H	**6.** J	**7.** A	**8.** G
9. E	**10.** D	**11.** B	**12.** C
13. D	**14.** C	**15.** D	**16.** C
17. B	**18.** A	**19.** C	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. B

2. B

3. D

4. El sistema nervioso tiene efectos localizados, inmediatos y a corto plazo sobre neuronas, células glandulares, células musculares y adipocitos. El sistema endocrino produce efectos generalizados, graduales y a largo plazo sobre todos los tejidos.

5. Los cuatro tipos de estructura química de las hormonas son derivados de aminoácidos, hormonas peptídicas, hormonas esteroideas y eicosanoides.

6. Los objetivos fundamentales son la mayoría de las células del organismo. Entre sus efectos cabe destacar el estímulo de la maduración funcional del esperma, la síntesis de proteínas en los músculos estriados, las características sexuales secundarias masculinas y los comportamientos asociados.

7. Las hormonas tiroideas potencian el uso de energía, el consumo de oxígeno y el crecimiento y desarrollo de las células.

8. Las glándulas paratiroides producen hormona paratiroidea (PTH) en respuesta a la hipocalcemia. La PTH incrementa las concentraciones de iones de calcio en los líquidos corporales estimulando los osteoclastos, inhibiendo los osteoblastos, reduciendo la excreción urinaria de iones de calcio y favoreciendo la absorción intestinal de calcio (mediante la estimulación de la síntesis renal de calcitriol) hasta que se restablece la normocalcemia.

9. La melatonina ralentiza la maduración de los espermatozoides, los óvulos y los órganos reproductores, inhibiendo la síntesis de una hormona liberadora hipotalámica que estimula la secreción de FSH y LH.

10. La red de capilares es parte del sistema portal hipofisario. Los capilares del hipotálamo absorben las secreciones reguladoras de los núcleos hipotalámicos y, después, se unen en forma de vasos porta y continúan hasta la hipófisis anterior. Aquí, los vasos porta se ramifican en una segunda red de capilares por donde los factores reguladores salen de los vasos para estimular las células endocrinas de la hipófisis anterior.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. La secreción hipofisaria de hormona del crecimiento (GH) es estimulada por la hormona liberadora de hormona del crecimiento (GHRH) e inhibida por la hormona inhibi-

dora de la liberación de GH o somatostatina (también conocida como factor inhibidor de la liberación de somatotropina o SRIF). La mayoría de los tumores hipofisarios que producen patrones de crecimiento exagerado, como la acromegalia, son tumores resultantes de un crecimiento excesivo de las hormonas somatótropas en la hipófisis. Este crecimiento excesivo de dichas hormonas en la hipófisis conlleva un aumento de las concentraciones sanguíneas de GH.

2. Los dos trastornos son: 1) la diabetes insípida, y 2) la diabetes mellitus. En la diabetes insípida, la hipófisis posterior deja de sintetizar ADH; por consiguiente, el resultado es deshidratación y aumento de la excreción urinaria. En la diabetes mellitus se observa una producción insuficiente de insulina, lo que conlleva un aumento de la glucemia y de la producción urinaria.
3. Puede ser que: 1) el hipotálamo no esté excretando suficiente hormona liberadora para estimular adecuadamente la síntesis adenohipofisaria de TSH; 2) la adenohipófisis no puede sintetizar concentraciones normales de TSH con una estimulación normal, o 3) la glándula tiroides no puede responder normalmente al estímulo de la TSH.
4. Dos hormonas renales actúan indirectamente incrementando la presión arterial y el volumen sanguíneo, con la oposición de una hormona producida por el corazón. 1) La renina, liberada por las células renales, convierte el angiotensinógeno hepático en angiotensina I, que es transformada por los capilares pulmonares en angiotensina II. La angiotensina II estimula la producción suprarrenal de aldosterona, que a su vez favorece la retención renal de iones de sodio y agua, reduciendo de ese modo la pérdida de líquidos por la orina, e incrementando el volumen sanguíneo y la presión arterial. 2) La eritropoyetina (EPO), una segunda hormona renal, estimula la producción medular de eritrocitos. La EPO es liberada a la sangre cuando descienden la presión arterial o la concentración de oxígeno, y en última instancia incrementa el volumen de la sangre y su capacidad para transportar oxígeno. 3) Cuando la presión arterial o la volemia aumentan excesivamente, el músculo cardíaco de la aurícula derecha sintetiza péptido natriurético auricular (ANP). El ANP suprime la liberación de ADH y aldosterona, estimulando la excreción renal de agua y sodio, y reduciendo gradualmente la volemia y la presión arterial.

CAPÍTULO 20

Verificación de conceptos

p. 534 1. La sangre aleja el calor de las áreas que se encuentran calientes y lo distribuye bien hacia la piel cuando el cuerpo está demasiado caliente, o bien hacia órganos vitales cuando el cuerpo se encuentra frío; un enlentecimiento importante del flujo eliminaría la capacidad corporal de enfriarse o calentarse adecuadamente.

p. 534 2. Un individuo hipovolémico tiene un volumen sanguíneo bajo y presentaría, por tanto, una presión sanguínea anormalmente baja.

p. 534 3. La sangre completa contiene cantidades significativas de elementos formes, tales como GR, GB y plaquetas. Estos componentes de la sangre la hacen más espesa y resistente al flujo.

p. 538 1. El valor hematocrito se aproxima estrechamente al porcentaje de eritrocitos sanguíneos; por tanto, los eritrocitos representan el 42% de su volumen sanguíneo.

p. 538 2. Los eritrocitos tienen la capacidad de apilarse y crear un *rouleau,* el cual puede atravesar un pequeño vaso sanguíneo más fácilmente de lo que lo harían los eritrocitos por separado. Además, los eritrocitos son flexibles, lo que les permite adaptarse al paso a través de los capilares pequeños.

p. 538 3. Como los GR no tienen núcleo ni ribosomas, no puede llevarse a cabo la síntesis de proteínas para su reparación y sustitución. Como resultado tienen una vida más corta que la mayoría de las células restantes; los GR sólo viven alrededor de 120 días en la circulación.

p. 538 4. El tipo AB tiene antígenos de superficie A y B, de forma que no cuenta con anticuerpos ni anti-A ni anti-B porque el sistema inmune corporal ignora sus propios antígenos.

p. 541 1. Se esperaría encontrar un gran número de neutrófilos en un corte infectado.

p. 541 2. La trombocitosis define cantidades inhabitualmente elevadas de plaquetas; esto probablemente se produce como respuesta a una infección, inflamación o cáncer.

p. 541 3. Eosinófilos.

p. 541 4. Los gránulos contienen histamina; su liberación exagera la respuesta inflamatoria en el punto de la lesión.

p. 543 1. La eritropoyetina aumenta la tasa de división tanto de eritroblastos como de células madre, y acelera la maduración de los GR.

p. 543 2. Las células madre pluripotenciales producen todos los elementos formados.

p. 543 3. La expulsión del núcleo transforma al eritroblasto (normoblasto) en reticulocito, el cual representa la etapa final de la maduración de los GR.

p. 543 4. Los megacariocitos, que derivan de células madre pluripotenciales, producen plaquetas.

Revisión del capítulo

Nivel I Revisión de datos y términos

1. C	**2.** H	**3.** E	**4.** F
5. G	**6.** J	**7.** D	**8.** I
9. A	**10.** B	**11.** D	**12.** D
13. B	**14.** B	**15.** D	**16.** C
17. D	**18.** A	**19.** B	**20.** **C**

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C
2. A
3. D
4. C
5. El volumen de células agrupadas es el hematocrito. Se expresa como porcentaje y se aproxima estrechamente al volumen de eritrocitos en la muestra sanguínea. Como resultado, al valor hematocrito se le denomina a menudo volumen de glóbulos rojos agrupados o, simplemente, volumen de células agrupadas.
6. La reacción de coagulación sella las roturas en las paredes sanguíneas de los vasos, evitando cambios en el volumen sanguíneo que podrían afectar gravemente a la presión sanguínea y a la función cardiovascular.
7. Un megacariocito maduro comienza a desgajar su citoplasma en pequeños paquetes rodeados de membrana llamados plaquetas.
8. Las estructuras linfáticas secundarias incluyen el bazo, las amígdalas y los ganglios linfáticos.
9. Las lipoproteínas son moléculas proteicolipídicas que se disuelven fácilmente en el plasma. Algunas lipoproteínas transportan lípidos insolubles hacia los tejidos periféricos.
10. Las personas con el tipo sanguíneo O tienen anticuerpos anti-A y anti-B en su plasma. Por tanto, no pueden recibir sangre de un donante AB porque los GR de este tipo de sangre contienen antígenos de superficie A y B. Se produciría una reacción cruzada.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. A mayores altitudes, cada eritrocito transporta menos oxígeno porque hay menos oxígeno en la atmósfera. Esta situación desencadena la eritrocitosis, la producción de un mayor número de eritrocitos en respuesta a la mayor liberación de eritropoyetina por los tejidos privados de oxígeno. Este mayor número de GR aumenta la capacidad transportadora de oxígeno total de la sangre con el fin de compensar la menor saturación en cada GR. Por tanto, cuando un atleta retorna a una altitud menor, su sangre transportará incluso más oxígeno, aumentando su resistencia y permitiéndole quizá una mejor actuación en la competición.
2. Una función principal del bazo es la destrucción de los eritrocitos viejos, defectuosos y agotados. Cuando el bazo aumenta de tamaño, también aumenta su capacidad de eliminar eritrocitos, lo que produce anemia. El número disminuido de eritrocitos reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno a los tejidos y, por tanto, se enlentece el metabolismo. Esto explicaría la sensación de fatiga y de falta de energía. Como hay menos glóbulos rojos de lo normal, la sangre que circula a través de la piel no es tan roja y, por ello, el individuo presenta una piel pálida o blanquecina.
3. Los antibióticos de amplio espectro actúan eliminando un amplio rango de bacterias, tanto patógenas como no patógenas. Cuando un individuo toma tales antibióticos, mata un gran número de bacterias que se encuentran normalmente en el intestino. Como estas bacterias producen vitamina K, su eliminación reduce significativamente la cantidad de vitamina K de que dispone el hígado para la producción de protrombina, un procoagulante vital en las reacciones de coagulación. Con cantidades disminuidas de protrombina en la sangre, las lesiones diarias habituales como roturas de vasos en las fosas nasales, que normalmente son selladas rápidamente por la coagulación, no se cierran tan rápidamente, teniendo como resultado el sangrado nasal.

CAPÍTULO 21

Verificación de conceptos

p. 552 1. La característica más evidente que diferencia el tejido muscular cardíaco del tejido muscular esquelético es que las células musculares cardíacas (miocitos) son pequeñas y con un núcleo de situación central. Además, están mecánica, química y eléctricamente conectadas con las células adyacentes en los discos intercalares.

p. 552 2. La cavidad pericárdica es un pequeño espacio entre la superficie visceral del corazón y la superficie parietal del saco pericárdico. Contiene líquido pericárdico, el cual actúa como lubricante, reduciendo el rozamiento entre superficies enfrentadas.

p. 552 3. Las células musculares cardíacas están conectadas con sus vecinas mediante puntos de unión especializados denominados discos intercalares. En un disco intercalar, las membranas están estrechamente unidas por desmosomas, miofibrillas de las células que se anclan en la membrana, y uniones en hendidura que conectan las células.

p. 552 4. Un sincitio es una única célula gigante con múltiples núcleos; se forma por la fusión de muchas células pequeñas individuales. El tejido muscular cardíaco funciona en gran medida como una célula muscular única. La contracción de una célula muscular cardíaca desencadena la contracción de varias otras, y de esta forma se extiende a través de todo el miocardio.

p. 556 1. El surco entre las aurículas y los ventrículos es el surco coronario.

p. 556 2. Las aurículas presentan unas paredes musculares relativamente finas y muy distensibles y, cuando no están distendidas, su contorno externo parece un colgajo arrugado y desinflado (la aurícula).

p. 561 1. Las válvulas evitan el flujo retrógrado desde los ventrículos a las aurículas cuando se contraen los ventrículos, de forma que sin ellas la sangre retornaría a las aurículas.

p. 561 2. La vena cava superior, la vena cava inferior y el seno coronario.

p. 561 3. La sangre del ventrículo izquierdo atraviesa la válvula aórtica, circula a través del circuito sistémico y penetra en la aurícula derecha. Desde allí, cruza la válvula tricúspide y entra en el ventrículo derecho. La sangre que deja el ventrículo derecho atraviesa la válvula pulmonar y entra en el tronco pulmonar. Se dirige entonces hacia las arterias pulmonares antes de alcanzar los capilares de las superficies respiratorias de los pulmones.

p. 561 4. A medida que los ventrículos comienzan a contraerse, fuerzan que las válvulas AV se cierren, lo que a su vez tensa las cuerdas tendinosas. Las cuerdas tendinosas tensan los músculos papilares. Los músculos papilares responden contrayéndose, oponiéndose a la fuerza que está desplazando las válvulas hacia las aurículas.

p. 566 1. Si estas células no están funcionando, el corazón continuaría latiendo, pero a menor velocidad, siguiendo el ritmo marcado por el nódulo AV.

p. 566 2. La frecuencia cardíaca aumenta en respuesta a noradrenalina.

p. 566 3. Como la membrana plasmática de las células nodales se despolariza espontáneamente y las células nodales están eléctricamente conectadas entre sí, con las fibras de conducción y con las células musculares cardíacas, las contracciones pueden transmitirse a través del sistema de conducción y desencadenar la contracción de las células musculares cardíacas. El momento de la contracción está controlado por el ritmo de propagación y de distribución del estímulo contráctil hacia el tejido muscular cardíaco en las aurículas frente a los ventrículos.

p. 568 1. El flujo de sangre de una cámara a la adyacente se produce sólo si la presión es mayor en la primera cámara que en la segunda, de forma que unas presiones idénticas significaría que la sangre no fluiría de aurículas a ventrículos.

p. 568 2. La liberación de noradrenalina (NA) produce un aumento tanto del ritmo cardíaco como de la fuerza de las contracciones, a través de la estimulación de los receptores beta de las células nodales y las células contráctiles. La liberación de acetilcolina (ACh) produce una disminución tanto del ritmo cardíaco como de la fuerza de las contracciones, a través de la estimulación de receptores muscarínicos en las células nodales y células contráctiles.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. F	**2.** E	**3.** H	**4.** C
5. B	**6.** J	**7.** G	**8.** A
9. I	**10.** D	**11.** D	**12.** C
13. C	**14.** B	**15.** C	**16.** A
17. B	**18.** C	**19.** C	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. C

3. C

4. Las células musculares cardíacas se parecen a las fibras musculares esqueléticas en que cada célula muscular cardíaca contiene miofibrillas organizadas, y en que la alineación de sus sarcómeras confiere al cardiocito una apariencia estriada.

5. Las válvulas semilunares no requieren soportes musculares porque las paredes arteriales no se contraen y las posiciones relativas de las cúspides permanecen estables.

6. Una célula marcapasos es aquella que se despolariza espontáneamente. Las células marcapasos normales (nódulo SA) se despolarizan a mayor velocidad. Otros grupos celulares que tienen el potencial de servir como células marcapasos son el nodo auriculoventricular, el haz AV, la rama derecha del haz, la rama izquierda del haz y las fibras de Purkinje.

7. El líquido pericárdico es secretado por las membranas pericárdicas y actúa como lubricante, disminuyendo la fricción entre las superficies pericárdicas visceral y parietal enfrentadas.

8. El ventrículo izquierdo tiene las paredes más gruesas porque necesita ejercer más fuerza para desplazar la sangre a lo largo del circuito sistémico.

9. Las células nodulares son poco habituales porque su membrana plasmática se despolariza espontáneamente. Las células nodales son las responsables de establecer el ritmo de la contracción cardíaca.

10. La liberación de noradrenalina produce un aumento tanto de la frecuencia cardíaca como de la fuerza de las contracciones, a través de la estimulación de los receptores beta de las células nodulares y contráctiles.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Da la impresión de que Harvey tiene una válvula mitral insuficiente. Cuando la válvula AV no se cierra adecuadamente, la sangre que retorna a la aurícula produce un sonido cardíaco anormal o ruido. Si dicho ruido se oye al principio de la sístole, implicaría una válvula AV porque este es el período en el que la válvula se acaba de cerrar y la sangre que se encuentra en el ventrículo está siendo sometida a una presión creciente; por tanto, la probabilidad de reflujo es máxima. Si el ruido se oye al final de la sístole o al comienzo de la diástole indicaría insuficiencia de una válvula semilunar –en este caso, la válvula semilunar aórtica–.

2. Durante la taquicardia, el corazón late a un ritmo anormalmente rápido. Cuando más rápido lata el corazón, menos tiempo se dispone entre las contracciones para el nuevo llenado de sangre. Como resultado, a lo largo de período de tiempo, el corazón se llena cada vez con menos sangre e impulsa, por tanto, menos sangre. El volumen del latido disminuye y también lo hace el gasto cardíaco. Cuando el gasto cardíaco se reduce hasta el punto de que es insuficiente la sangre que alcanza el sistema nervioso central, se produce una pérdida de consciencia.

3. Se liberaría acetilcolina, lo que reduciría el ritmo cardíaco.

4. La fiebre reumática puede producir carditis, una irritación del miocardio y de las válvulas cardíacas. Se forma gradualmente tejido cicatricial, lo que eventualmente altera el funcionamiento de las valvas de las válvulas, dando lugar a una reducción de la eficiencia del corazón. Si no se corrige, esta situación continúa empeorando y puede ocasionar insuficiencia cardíaca.

CAPÍTULO 22

Verificación de conceptos

p. 578 1. Estos vasos sanguíneos son venas. Las arterias y las arteriolas tienen una cantidad relativamente grande de tejido muscular liso en una túnica media gruesa y bien desarrollada.

p. 578 2. La presión sanguínea en el sistema arterial impulsa la sangre hacia los capilares. La presión sanguínea en el lado venoso es muy baja, y otras fuerzas ayudan a mantener la sangre circulando. Las válvulas de las paredes de las vénulas y de las venas de tamaño medio permiten que el flujo sanguíneo sea unidireccional, hacia el corazón, evitando el retorno de la sangre hacia los capilares.

p. 578 3. La arteria femoral es una arteria muscular.

p. 578 4. No se produce intercambio gaseoso en las arteriolas.

p. 592 1. Las arterias carótidas llevan sangre a las estructuras de la cabeza y el cuello, incluyendo el cerebro.

p. 592 2. La arteria humeral derecha es la arteria de la región del bíceps.

p. 592 3. La arteria ilíaca externa da origen a la arteria femoral en el muslo.

p. 592 4. Una lesión de las arterias carótidas internas no siempre ocasionaría una lesión cerebral, porque las arterias vertebrales también llevan sangre al cerebro.

p. 599 1. Los órganos irrigados por el tronco celíaco incluyen el estómago, el bazo, el hígado y el páncreas.

p. 599 2. Las venas superficiales se dilatan para promover la pérdida de calor a través de la piel.

p. 599 3. La vena cava superior recibe sangre de la cabeza, el cuello, el tórax, los hombros y los miembros superiores.

p. 599 4. La sangre del intestino contiene grandes cantidades de glucosa, aminoácidos y otros nutrientes y toxinas que se absorben a través del tracto digestivo. Estos son procesados por el hígado antes de que la sangre alcance el circuito sistémico de cara a mantener la composición de la sangre en el cuerpo relativamente estable.

p. 603 1. Los principales cambios en el corazón y los vasos principales que tienen lugar al nacimiento son los siguientes: 1) se expanden las venas pulmonares; 2) el ducto arterioso se contrae, lo que fuerza a la sangre a dirigirse hacia el circuito pulmonar, y 3) un colgajo valvular cierra el agujero oval.

p. 603 2. La sangre se acumula en las venas de las piernas porque no están funcionando adecuadamente las válvulas.

p. 603 3. Las arterias deben ser capaces de expandirse con los aumentos repentinos de la presión. Una capacidad disminuida para hacerlo produce un abultamiento o laceración en la pared de la arteria.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** D	**3.** F	**4.** J
5. I	**6.** H	**7.** A	**8.** G
9. E	**10.** B	**11.** B	**12.** A
13. D	**14.** D	**15.** B	**16.** A
17. C	**18.** A	**19.** B	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. A

3. B

4. Las arterias pulmonar, carótida común, subclavia e ilíaca común son ejemplos de arterias elásticas.

5. Hay sinusoides en el hígado, la médula ósea y las glándulas suprarrenales.

6. Son conexiones directas entre arteriolas y vénulas.

7. Evitan el flujo retrógrado y colaboran en el retorno del flujo sanguíneo al corazón por compartimentalización.

8. El tronco braquiocefálico, la carótida común izquierda y la subclavia izquierda son arterias elásticas que se originan en el cayado aórtico.

9. La vena cava superior recibe sangre de la cabeza, el cuello, los hombros y los miembros superiores.

10. La sangre puede circular directamente de la aurícula derecha a la aurícula izquierda, evitando el circuito pulmonar.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Las venas emisarias conectan la circulación superficial con la circulación profunda que desemboca en los senos venosos craneales. Las infecciones en la región superficial de la zona ocular pueden transmitirse internamente a los senos craneales anteriores, lo que podría ocasionar una meningitis. Por tanto, resulta importante no transmitir la infección de la zona superficial a la profunda.

2. En respuesta a la elevada temperatura del agua, el cuerpo de John desvió más sangre hacia las venas superficiales para disminuir la temperatura corporal. La dilatación de las venas superficiales produjo una desviación de la sangre hacia los brazos y las piernas y ocasionó una disminución del retorno venoso. Por el menor retorno venoso el gasto cardíaco se redujo y la cantidad de sangre con oxígeno que alcanzó el cerebro fue menor. Esto hizo que John se sintiera mareado y se desmayara, y casi produjo su fallecimiento.

3. En la insuficiencia cardíaca, el corazón no es capaz de impulsar con fuerza suficiente la sangre para que circule adecuadamente. La sangre tiende a acumularse en las extremidades y a medida que se retiene más y más líquido en los capilares, la presión hidrostática de la sangre aumenta y la presión osmótica sanguínea disminuye. La acumulación de líquido sobrepasa la capacidad de los linfáticos para drenarla y, como resultado, se producen edemas e hinchazones evidentes.

CAPÍTULO 23

Verificación de conceptos

p. 613 1. El sistema linfático produce, mantiene y distribuye los linfocitos, que son esenciales para la defensa del organismo.

p. 613 2. Capilar número uno.

p. 613 3. Dado que la linfa devuelve a la circulación sanguínea una parte importante de los líquidos corporales, la rotura de un vaso linfático importante podría hacer descender la volemia con consecuencias letales.

p. 613 4. Las estructuras linfáticas primarias trasportan células madre.

p. 617 1. Los linfocitos T representan aproximadamente el 80% de los linfocitos circulantes del organismo.

p. 617 2. Algunos linfocitos B se diferencian en linfocitos B de memoria, que se activan cuando el antígeno aparece nuevamente. Por consiguiente, el organismo de John será capaz de montar una respuesta inmunitaria más rápida y eficaz, evitando posiblemente cualquier síntoma de la enfermedad.

p. 617 3. El organismo tiene que ser capaz de montar una respuesta rápida y contundente contra los antígenos, para lo que necesita producir determinados tipos de linfocitos en momentos determinados. Sin esta capacidad, la respuesta inmunitaria sería más lenta y débil y el organismo podría ser víctima de la infección o la enfermedad.

p. 617 4. Nódulos linfáticos agregados (placas de Peyer).

p. 625 1. Los linfocitos T regulan la activación o la supresión de los linfocitos B y, por consiguiente, regulan la magnitud de la respuesta inmunitaria.

p. 625 2. Los ganglios linfáticos están distribuidos estratégicamente por todo el organismo, en zonas sensibles a las lesiones o la invasión.

p. 625 3. Los capilares del timo no permiten el libre intercambio entre el líquido intersticial y la circulación. Si lo hicieran, los antígenos circulantes podrían estimular prematuramente los linfocitos T en proceso de desarrollo.

p. 625 4. Los ganglios linfáticos aumentan de tamaño durante una infección debido a un incremento del número de linfocitos y fagocitos en el interior de los ganglios activos.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** J	**3.** E	**4.** B
5. F	**6.** D	**7.** A	**8.** I
9. H	**10.** G	**11.** D	**12.** D
13. D	**14.** C	**15.** A	**16.** A
17. A	**18.** B	**19.** D	**20.** C

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. C

3. B

4. La barrera hematotímica impide que los antígenos circulantes estimulen prematuramente los linfocitos T en desarrollo.

5. La arteria y la vena esplénicas pasan a través del hilio del bazo.

6. El conducto torácico recibe linfa de las zonas del cuerpo situadas por debajo del diafragma y del lado izquierdo del cuerpo por encima del diafragma.

7. Los linfocitos T son el tipo de linfocitos más frecuente.

8. El linfedema es una hinchazón tisular causada por una lesión de las válvulas de los vasos linfáticos o un bloqueo de los mismos.

9. Los linfocitos inmaduros o activados se dividen generando más linfocitos del mismo tiempo.

10. Los nódulos linfáticos agregados (placas de Peyer) se localizan en la lámina propia, situada en la parte interna del epitelio que tapiza parte del intestino delgado.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Si Tom ha padecido previamente el sarampión, aparecerá una cantidad importante de anticuerpos IgG en su sangre poco tiempo después de la exposición, como consecuencia de una respuesta inmunitaria mediada por anticuerpos. Si no ha padecido previamente esta enfermedad y se encuentra en las fases iniciales de una respuesta primaria, puede haber una concentración elevada de anticuerpos en su sangre.

2. Las alergias se producen cuando unos antígenos denominados alérgenos se unen a determinados tipos de anticuerpos ligados a la superficie de los mastocitos y los basófilos. Una persona se vuelve alérgica cuando desarrolla anticuerpos contra un determinado alérgeno. Al menos en teoría, una molécula que se uniese a los anticuerpos específicos contra la ambrosía e impidiera la unión del alérgeno podría ayudar a mitigar la alergia.

3. Existen capilares linfáticos en la mayoría de las regiones del organismo, y los capilares linfáticos suelen ofrecer muy poca resistencia al paso de las células cancerosas, que a menudo se diseminan a través de los mismos, utilizándolos como estaciones de paso.

CAPITULO 24

Verificación de conceptos

p. 632 1. Las vías respiratorias superiores calientan y humidifican el aire, protegiendo de este modo las vías respiratorias inferiores contra las temperaturas extremas y la sequedad. Al

respirar por la boca se elimina una parte importante de la filtración, humidificación y calentamiento que deben producirse antes de que el aire llegue a los tejidos sensibles de los pulmones.

p. 632 2. La escalera mecánica mucosa se localiza en las zonas bajas de las vías respiratorias, donde los cilios del epitelio respiratorio baten hacia la faringe, limpiando los conductos respiratorios.

p. 632 3. Los cornetes generan turbulencias en el aire inspirado. Esto ralentiza el movimiento del aire y lo pone en contacto con las paredes húmedas y calientes de la cavidad nasal. El flujo turbulento del aire es muy importante para la filtración, la humidificación y el calentamiento del aire; estos procesos protegen las zonas más delicadas de las vías respiratorias inferiores. Si la cavidad nasal fuera un conducto tubular de paredes rectas, las turbulencias serían mínimas.

p. 636 1. El cartílago tiroides protege la glotis y la abertura de la tráquea.

p. 636 2. Durante la deglución, la epiglotis se pliega sobre la glotis, impidiendo el paso de la comida o los líquidos a las vías respiratorias.

p. 636 3. El tono de su voz se hace más grave.

p. 636 4. La glotis no podría cerrarse sin los músculos laríngeos intrínsecos, de modo que la comida podría entrar en las vías respiratorias.

p. 638 1. Los cartílagos traqueales tienen forma de C para permitir la expansión del esófago durante la deglución de grandes cantidades de comida o líquido.

p. 638 2. La tráquea posee un epitelio respiratorio típico, cilíndrico, seudoestratificado y ciliado.

p. 638 3. Los cartílagos traqueales impiden la expansión excesiva o el colapso de las vías respiratorias durante la respiración, manteniéndolas abiertas y funcionales.

p. 638 4. El bronquio primario derecho tiene un diámetro mayor, y se dirige hacia el pulmón formando un ángulo más empinado.

p. 646 1. El tabaquismo crónico daña la mucosa de las vías respiratorias. El calor desprende los cilios de la superficie celular, y el gran número de partículas que no son filtradas quedan atrapadas en el moco excesivo secretado para proteger la mucosa irritada. Esta combinación de circunstancias favorece la formación de una gran cantidad de moco espeso, difícil de expulsar de las vías respiratorias. Mediante el reflejo de la tos se intenta eliminar este material de los conductos respiratorios.

p. 646 2. La sobreproducción de moco puede conducir a la obstrucción de las vías respiratorias de menor calibre, con la consiguiente reducción de la eficiencia respiratoria.

p. 646 3. La filtración y la humidificación ya se han completado cuando el aire llega a este punto, por lo que ya no son necesarias estas estructuras.

p. 646 4. El surfactante cubre la superficie interna de los alvéolos, ayuda a reducir la tensión superficial y evita el colapso de los alvéolos.

p. 647 1. Esto generaría una gran tensión sobre el ventrículo derecho, que intentaría bombear sangre a través del vaso bloqueado. Con el paso del tiempo, esta tensión puede llegar a producir insuficiencia cardíaca.

p. 647 2. El líquido pleural actúa como un lubricante entre las superficies parietal y visceral durante la respiración.

p. 647 3. Los segmentos conductores de las vías respiratorias reciben sangre de las arterias carótidas externas, el tronco tirocervical y las arterias bronquiales.

p. 649 1. Como la costilla atraviesa la pared torácica, resultarán dañadas la cavidad torácica y la pleura interna. El aire atmosférico penetrará en la cavidad pleural. Normalmente, la presión en este espacio es inferior a la del aire exterior, de manera que cuando entra el aire no se compensa la elasticidad pulmonar natural y el pulmón se colapsa. La entrada de aire en la cavidad pleural se denomina neumotórax; el colapso pulmonar resultante se denomina atelectasia.

p. 649 2. A causa del enfisema, la dilatación de los espacios aéreos y la pérdida de elasticidad reducen la eficacia del intercambio capilar y la ventilación pulmonar.

p. 649 3. Durante la primera respiración de un neonato, el aire entra a la fuerza en los pulmones debido al cambio de presión. Los líquidos son expulsados de las vías respiratorias y los alvéolos se llenan de aire inmediatamente. La circulación pulmonar se activa, y esto cierra el agujero oval y el conducto arterioso.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. I	**2.** J	**3.** A	**4.** H
5. G	**6.** D	**7.** B	**8.** E
9. C	**10.** F	**11.** A	**12.** D
13. B	**14.** B	**15.** C	**16.** C
17. D	**18.** C	**19.** B	**20.** B

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D
2. A
3. C
4. El pulmón derecho tiene tres lóbulos.
5. La broncodilatación es un aumento del calibre de las vías respiratorias.
6. Fagocitan partículas.
7. Los tabiques dividen el pulmón en lobulillos.
8. Un grupo regula la tensión de los pliegues vocales, y el segundo abre y cierra la glotis.
9. Los cartílagos laríngeos pareados que intervienen en la apertura y el cierre de la glotis son los cartílagos corniculados y aritenoides.
10. Comprende la parte situada entre el hueso hioides y la entrada al esófago.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. El asma se produce cuando los conductos respiratorios son excesivamente sensibles e irritables, debido habitualmente a la exposición a un antígeno presente en el aire inspirado. Los síntomas más importantes son el edema y la hinchazón de las paredes de los conductos; la constricción de los músculos lisos de las paredes del árbol bronquial, con la consiguiente reducción del calibre luminal; y la producción acelerada de moco. En conjunto, todos estos factores reducen la capacidad pulmonar para el intercambio gaseoso normal.
2. A menos que hubiesen ahogado inmediatamente al niño al nacer, la primera inspiración habría empezado a inflar los pulmones y habría quedado atrapado algo de aire en los mismos. Sumergiendo los pulmones en agua para ver si flotan, el examinador médico puede determinar si hay aire en los mismos. También podría realizar otras mediciones y pruebas para determinar si el lactante había llegado a respirar (presencia de aire en los pulmones) o había nacido muerto (pulmones colapsados y una pequeña cantidad de líquido en los mismos).

CAPÍTULO 25

Verificación de conceptos

p. 662 1. Los componentes de la mucosa son: 1) el epitelio mucoso (dependiendo de su localización, puede ser escamoso columnar simple o escamoso estratificado); 2) la lámina propia, tejido areolar subyacente al epitelio, y 3) la muscular de la mucosa, integrada por bandas de fibras de tejido muscular liso dispuestas en capas concéntricas. La mucosa del tubo digestivo es un ejemplo de membrana mucosa, con funciones tanto de absorción como de secreción.

p. 662 2. Los mesenterios aportan una vía de acceso al paso de vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos, tanto al tubo digestivo como desde él. También estabilizan las posiciones relativas de los órganos fijados.

p. 662 3. El peristaltismo está constituido por ondas de contracción muscular que inducen el desplazamiento de sustancias a lo largo del tubo digestivo. Las actividades de segmentación revuelven y mezclan el contenido de los intestinos delgado y grueso, pero no generan movimiento en ninguna dirección determinada.

p. 662 4. Permite que el músculo liso sometido a tensión se adapte a su nueva forma y mantenga la capacidad de contracción cuando es necesario.

p. 666 1. La cavidad oral está revestida por la mucosa oral, compuesta por epitelio escamoso estratificado no queratinizado.

p. 666 2. En las comidas, la saliva lubrica la boca y disuelve los compuestos químicos que estimulan los botones gustativos. La saliva contiene la enzima digestiva amilasa, que inicia la descomposición de los carbohidratos.

p. 666 3. Los carbohidratos son descompuestos por la amilasa de la saliva en la boca.

p. 666 4. Los incisivos cortan un pedazo de manzana, que pasa a la boca. Los caninos rompen la piel y la pulpa de la fruta. A continuación, los fragmentos de manzana pasan a ser masticados por los premolares y los molares, para ser disgregados y triturados antes de su deglución.

p. 668 1. Las fauces constituyen la abertura que da paso de la cavidad oral a la faringe.

p. 668 2. El proceso corresponde a la deglución.

p. 668 3. La fase bucal es la única etapa voluntaria de la deglución.

p. 668 4. Cuando alguien padece ardor epigástrico es posible que su esfínter esofágico inferior no se haya cerrado por completo, por lo que potentes ácidos gástricos del estómago penetran en el esófago inferior, ocasionando un molesto reflujo ácido.

p. 673 1. El epiplón mayor proporciona soporte a los órganos adyacentes, produce una acción de acolchamiento de dichos órganos con respecto a la superficie del abdomen, y constituye una importante reserva de energía y de aislamiento.

p. 673 2. El epitelio genera un revestimiento mucoso que cubre las superficies interinas del estómago, proporcionando protección contra sus potentes ácidos y enzimas. Todas las células que resultan dañadas son rápidamente sustituidas.

p. 673 3. Las células principales secretan pepsinógeno. En lactantes, también segregan renina y lipasa gástrica.

p. 673 4. La gastrina, producida por las células enteroendocrinas, estimula la secreción de las células parietales y principales.

p. 677 1. El revestimiento característico del intestino delgado está formado por pliegues circulares, que contienen las vellosidades intestinales. Las vellosidades están cubiertas por un epitelio columnar simple cuya superficie apical está revestida de microvellosidades. Esta disposición aumenta el área total de digestión y absorción hasta más de 200 m^2.

p. 677 2. Los pliegues son dobleces en el revestimiento del intestino que aumentan de forma notable la superficie disponible para la absorción.

p. 677 3. Las glándulas intestinales contienen las células madre productoras de nuevas células epiteliales, que renuevan la superficie epitelial e incorporan enzimas intracelulares al quimo. Además, las glándulas intestinales contienen células que producen numerosas hormonas intestinales.

p. 677 4. El duodeno actúa como «recipiente mezclador» del quimo que llega a él desde el estómago.

p. 686 1. La fibrosis quística afecta a la digestión de azúcares, almidones, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas.

p. 686 2. El hígado actúa como regulador metabólico, extrayendo nutrientes y toxinas de la sangre antes de que esta pase a la circulación sanguínea. También regula la sangre actuando como reservorio de la misma, fagocitando los eritrocitos viejos o dañados y sintetizando proteínas plasmáticas. Por último, el hígado sintetiza y secreta bilis.

p. 686 3. La contracción del esfínter hepatopancreático cierra el canal de comunicación entre la vejiga urinaria y el intestino delgado y evita que la bilis penetre en él.

p. 686 4. El páncreas produce enzimas digestivas y sustancias tampón (funciones exocrinas) y hormonas (funciones endocrinas).

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** A	**3.** D	**4.** F
5. J	**6.** G	**7.** H	**8.** E
9. I	**10.** B	**11.** A	**12.** C
13. D	**14.** C	**15.** D	**16.** D
17. A	**18.** B	**19.** A	**20.** D

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. C

2. A

3. C

4. La lipasa ataca los lípidos.

5. La contracción del esfínter hepatopancreático cierra el canal de comunicación entre la vejiga urinaria y el intestino delgado y evita que la bilis penetre en él.

6. La vejiga almacena y concentra la bilis.

7. Las células de Kupffer engloban agentes patógenos, residuos celulares y células sanguíneas dañadas en el hígado.

8. La última región del colon antes del recto es el sigmoide.

9. Los lácteos transportan materiales que no pueden penetrar en los capilares locales. Estos materiales llegan en última instancia a la circulación a través del conducto torácico.

10. La liberación de gastrina es producida por la entrada de alimento en el estómago.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Durante la autopsia, el forense examina el contenido del estómago de la víctima y observa que está vacío. Dado que una comida normal suele tardar en abandonar el estómago unas cuatro horas, es obvio que la víctima no pudo cenar a la hora indicada por el sospechoso.

2. 1) El esfínter esofágico superior; 2) el esofágico inferior; 3) el pilórico; 4) la válvula ileocecal; 5) el anal interno, y 6) el anal externo son los esfínteres que controlan en movimiento de materia en la luz del tubo digestivo. Sólo el último, el esfínter anal externo, está compuesto por músculo estriado con inervación motora somática, por lo que es también el único con control voluntario.

3. El tubo digestivo está formado por las seis capas histológicas siguientes: 1) epitelio mucoso; 2) lámina propia; 3) muscular de la mucosa; 4) submucosa; 5) muscular externa, y 6) serosa.

CAPÍTULO 26

Verificación de conceptos

p. 696 1. Los riñones absorberán más agua y liberarán eritropoyetina y renina.

p. 696 2. La orina pasa por los uréteres hacia la vejiga urinaria, donde se almacena hasta que se produce la micción. A continuación pasa por la uretra, hacia el exterior del organismo.

p. 696 3. El calcitriol, liberado por los riñones como respuesta a los bajos niveles sanguíneos de calcio, aumenta la absorción de este ión en el epitelio intestinal.

p. 703 1. El recorrido de la arteria renal al glomérulo es el siguiente: arteria renal → arterias segmentarias → arterias interlobulares → arterias arciformes → arterias interlobulillares → arteriolas aferentes → glomérulo. El recorrido del glomérulo a la vena renal es, en cambio: glomérulo → arteriolas eferentes → capilares peritubulares/vasos rectos → vénulas → venas interlobulillares → venas arciformes → venas interlobulares → vena renal.

p. 703 2. El filtrado fluye del glomérulo al cáliz menor por la ruta siguiente: glomérulo → espacio capsular → TCP → rama descendente del asa → asa de Henle → rama ascendente del asa → TCD → túbulo conector → conducto conector → conducto papilar → cáliz menor.

p. 703 3. La filtración, que es un proceso pasivo, permite el paso de iones y moléculas en función de su tamaño. Ello significa que, si los poros son lo bastante grandes para permitir el paso de residuos orgánicos, también admiten el de agua, iones y otras importantes moléculas orgánicas Tal es la razón por la que algunos elementos del filtrado han de ser reabsorbidos de forma activa antes de que la producción de orina se complete.

p. 703 4. El asa absorbe agua adicional del líquido tubular e, incluso en mayor porcentaje, iones de sodio y cloruro. Ello es consecuencia de la elevada concentración osmótica de su entorno en la médula.

p. 708 1. La obstrucción de un uréter interrumpe el flujo de orina entre la pelvis renal y la vejiga urinaria.

p. 708 2. La mucosa que reviste la vejiga urinaria presenta numerosos pliegues que permiten que esta se expanda cuando está llena.

p. 708 3. Las mujeres padecen infecciones urinarias, causadas por bacterias, con más frecuencia que los hombres, debido a la proximidad entre la uretra y el ano. Además, la uretra femenina es más corta, por lo que las bacterias llegan más fácilmente a la vejiga urinaria.

p. 708 4. La vejiga urinaria se mantiene en posición por acción del ligamento umbilical medio, que se extiende por sus bordes anterior y superior, y por la de los ligamentos umbilicales laterales, que pasan por sus lados.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. C	**2.** A	**3.** I	**4.** F
5. J	**6.** B	**7.** E	**8.** H
9. D	**10.** G	**11.** D	**12.** A
13. C	**14.** B	**15.** B	**16.** D
17. D	**18.** C	**19.** C	**20.** C

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. B

2. B

3. B

4. El glomérulo se encuentra contenido en una cámara expandida de la nefrona (cápsula glomerular).

5. Está formado por células grandes (podocitos), con «pies» que envuelven los capilares glomerulares.

6. El complejo yuxtaglomerular secreta dos hormonas: renina y eritropoyetina.

7. El trígono es el área triangular de la vejiga urinaria delimitada por los orificios uretrales y la entrada de la uretra.

8. El esfínter uretral externo es de control voluntario.

9. La principal función del túbulo contorneado proximal es la absorción.

10. Los pliegues de la vejiga urinaria permiten que esta se expanda al llenarse de orina.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Dado que el esfínter uretral externo es el único que proporciona control voluntario y consciente de la micción, es físicamente imposible para un niño limitar la expulsión de orina a voluntad hasta que el control neuronal de los músculos madura. El esfínter uretral interno no presenta control voluntario por parte del sistema nervioso somático. Antes de los dos años de edad, el control de esfínteres apenas permite que los padres puedan ir anticipando el momento en el que el niño va a presentar el reflejo de micción.
2. El ejercicio extenuante, como el que se realiza en carreras de larga distancia, produce una activación simpática que estimula una potente vasoconstricción de las arteriolas aferentes en los riñones. Dado que estos son los vasos que aportan sangre a los corpúsculos renales, su constricción disminuye la tasa de filtración glomerular. El flujo sanguíneo a los riñones se reduce, además, cuando los vasos sanguíneos periféricos dilatados derivan la sangre de los riñones al músculo estriado durante la carrera. Como el paso de sangre por el riñón continúa disminuyendo por la pérdida de agua durante el ejercicio, la probabilidad de desarrollo de insuficiencia renal aumenta durante los prolongados períodos de esfuerzo asociados a las carreras de maratón.
3. El aumento de la masa del útero, localizado en las áreas superior y posterior a la vejiga urinaria en la mujer, oprime hacia abajo dicha vejiga, aumentando la sensación de presión y desencadenando el reflejo de micción, incluso cuando la vejiga está sólo parcialmente llena. Además, cuando se aproxima el parto, el feto puede golpear la vejiga materna, lo que también estimula el reflejo de micción.

CAPÍTULO 27

Verificación de conceptos

p. 722 1. El conducto deferente, los vasos sanguíneos, los nervios y los vasos linfáticos testiculares integran el cordón espermático.

p. 722 2. Los conductos inguinales, unos estrechos canales que conectan las cavidades escrotales con la cavidad peritoneal, suelen cerrarse, aunque la presencia de los cordones espermáticos crea puntos débiles en la pared abdominal.

p. 722 3. La temperatura del interior de la cavidad peritoneal es excesivamente alta para la producción de espermatozoides, por lo que los testículos se hallan fuera de ella en la cavidad escrotal, cuya temperatura es más baja.

p. 722 4. La barrera hematotesticular separa las porciones internas del túbulo seminífero del líquido intersticial circundante. La regulación del transporte a lo largo de las células sustentaculares es muy estricta con el fin de mantener un entorno muy estable en el interior del túbulo.

p. 727 1. La capacitación es el proceso a través del cual el espermatozoide se torna activo, móvil y completamente funcional. Tiene lugar cuando los espermatozoides se mezclan con los productos secretados por las glándulas seminales y se exponen a las condiciones imperantes en el aparato reproductor femenino.

p. 727 2. Tras desprenderse de las células sustentaculares, los espermatozoides pasan a la luz del túbulo seminífero. Más adelante serán transportados por las corrientes de líquidos a través del tubo recto y la red testicular hasta alcanzar el epidídimo, en el que permanecen alrededor de dos semanas hasta el final de su maduración funcional. Los espermatozoides que abandonan el epidídimo se dirigen al conducto deferente, en el que pueden almacenarse durante varios meses. Finalmente, pasan al conducto eyaculador que desemboca en la uretra para ser expulsados del organismo.

p. 733 1. Las células foliculares aportan nutrientes al ovocito en desarrollo y secretan estrógenos. Estimulan el crecimiento folicular a través de la secreción de líquido folicular. Tras la ovulación, las restantes células foliculares del folículo vacío originan el cuerpo lúteo.

p. 733 2. La formación de cicatrices en las trompas uterinas puede provocar infertilidad al impedir el paso del cigoto hacia el útero. Las cicatrices pueden deberse a la enfermedad pélvica inflamatoria, una infección de las trompas uterinas.

p. 740 1. El desarrollo de los folículos primarios y secundarios en el ovario tiene lugar al mismo tiempo que la fase proliferativa del ciclo uterino.

p. 740 2. La ovulación sucede al comienzo de la fase secretora.

p. 740 3. La obstrucción de un único seno galactóforo no dificultaría el transporte de leche hacia el pezón, debido a que cada glándula mamaria posee entre 15 y 20 de estos senos.

p. 740 4. La prolactina, la somatostatina y el lactógeno placentario humano estimulan la activación mitótica de las glándulas mamarias, que producirán las células glandulares necesarias para la secreción de leche.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. I	**2.** A	**3.** D	**4.** F
5. J	**6.** C	**7.** B	**8.** H
9. G	**10.** E	**11.** D	**12.** B
13. B	**14.** A	**15.** B	**16.** C
17. A	**18.** B	**19.** D	**20.** C

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. B
2. D
3. D
4. La cabeza del espermatozoide contiene un núcleo con cromosomas.
5. El acrosoma contiene enzimas que participan en las fases iniciales de la fecundación.
6. La próstata sintetiza seminalplasmina, un antibiótico que puede ayudar a evitar las ITU en el hombre.
7. El líquido folicular estimula el crecimiento rápido del folículo.
8. Durante la menstruación se desprende la capa funcional del endometrio.
9. Se puede detectar gonadotropina coriónica humana (HCG) poco tiempo después de la implantación .
10. Normalmente, el descenso de los testículos tiene su comienzo hacia el séptimo mes de desarrollo.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. Sí, podría tener una erección. La erección es un reflejo parasimpático controlado por la región sacra de la médula espinal (por debajo de la lesión). La estimulación táctil del pene pondría en marcha el reflejo parasimpático que controla esta respuesta. Igualmente, podría tener una erección por la vía simpática, cuyo control recaería en el área T_{12}-L_2 de la médula espinal (por encima de la lesión). La estimulación de centros más altos reduciría el tono simpático de los vasos del pene y daría lugar a una erección.
2. Las células endometriales poseen receptores de las hormonas estrógeno y progesterona, y responden a estas moléculas de manera similar a las células del cuerpo del útero. Estas células proliferan al comienzo del ciclo menstrual, como consecuencia de la exposición al estrógeno, y dan lugar a glándulas y vasos sanguíneos cuyo desarrollo adicional está controlado por la progesterona. Este drástico cambio del grosor y las propiedades de este tejido influye en los vecinos al presionarlos o alterar su función a través de otros mecanismos, lo que origina una sensación de dolor.
3. Los patógenos de transmisión sexual pueden atravesar la vagina, el útero y las trompas uterinas hasta acceder a la cavidad peritoneal de la mujer y producir una peritonitis, mientras que en el hombre no existe esta vía de acceso. La longitud de la uretra es relativamente corta y desemboca cerca de la vagina y el ano, por lo que las infecciones microbianas de la uretra (uretritis) y la vejiga urinaria (cistitis) se deben, a menudo, a la microflora normal del perineo que asciende hacia la uretra durante el coito. La longitud de la uretra masculina es mayor, lo que hace menos probables las infecciones del tracto urinario.

CAPÍTULO 28

Verificación de conceptos

p. 750 1. Los espermatozoides no pueden llevar a cabo la fecundación hasta haberse sometido al proceso de capacitación que tiene lugar en el aparato reproductor femenino.

p. 750 2. Una capa de células foliculares rodea al ovocito. El acrosoma del espermatozoide contiene hialuronidasa, una enzima que degrada las conexiones existentes entre las células foliculares adyacentes. Sin embargo, uno o dos espermatozoides no bastan para fecundar el ovocito, ya que la destrucción de las conexiones requiere la liberación de los contenidos acrosómicos de, al menos, un centenar de ellos.

p. 750 3. El ovocito se somete a un proceso de activación que engloba un aumento súbito de la actividad metabólica, una modificación de la membrana celular que impide su fecundación por otros espermatozoides, y la finalización de la meiosis.

p. 750 4. Durante el primer trimestre se desarrollan los principales sistemas orgánicos.

p. 755 1. La masa celular interna del blastocisto dará lugar al embrión.

p. 755 2. El sincitiotrofoblasto se hunde en el epitelio uterino. Al erosionar esta capa se destruyen algunas glándulas uterinas, que liberan nutrientes que absorberá el sincitiotrofoblasto y se distribuirán por difusión a la masa celular interna.

p. 755 3. La capa mesodérmica da lugar a los sistemas/aparatos óseo, muscular, endocrino, cardiovascular, linfático, urinario y reproductor, y al revestimiento de todas las cavidades corporales, así como a los tejidos conjuntivos.

p. 755 4. La placenta contiene las arterias maternas y la vena umbilical, hace posible el intercambio de nutrientes a través de las vellosidades coriónicas, y fabrica hormonas relevantes tanto para la madre como para el embrión.

p. 763 1. El desarrollo de los sistemas orgánicos continúa y el embrión crece con rapidez, aunque su longitud aumenta en mayor medida que su peso.

p. 763 2. La fase de dilatación, durante la cual se dilata el cuello uterino y el feto desciende a lo largo del canal cervicouterino, suele durar ocho o más horas.

p. 763 3. Aunque los riñones pueden filtrar material de desecho, son incapaces aún de concentrar la orina. Como consecuencia de ello, el feto pierde un volumen importante de agua a través de la orina y debe ingerir una gran cantidad de líquido para compensar esta pérdida.

p. 763 4. A lo largo de la fase de expulsión de la placenta, el útero vacío se contrae y reduce sus dimensiones, lo que destruye las conexiones existentes entre el endometrio y la placenta y da lugar a su expulsión.

Revisión del capítulo

Nivel 1 Revisión de datos y términos

1. F	**2.** G	**3.** J	**4.** B
5. H	**6.** D	**7.** I	**8.** C
9. A	**10.** E	**11.** B	**12.** C
13. B	**14.** A	**15.** C	**16.** B
17. C	**18.** A	**19.** B	**20.** A

Nivel 2 Revisión de conceptos

1. D

2. B

3. C

4. La segmentación es una secuencia de divisiones celulares que tiene lugar inmediatamente después de la fecundación, en el primer trimestre del embarazo.

5. La estría primitiva es la línea central del blastodisco, cuyas células comienzan a migrar para dar lugar a las capas germinativas.

6. Las células trofoblásticas comienzan a sintetizar la gonadotropina coriónica humana poco después de la implantación. Esta molécula potencia la producción de progesterona por parte del cuerpo lúteo.

7. La anfimixis consiste en la fusión de los pronúcleos masculino y femenino.

8. En el saco vitelino tiene lugar la hematopoyesis.

9. La organogenia es el proceso de formación de órganos.

10. El primer trimestre representa una etapa clave, debido a que los acontecimientos que se suceden a lo largo de estas primeras 12 semanas establecen los cimientos de la formación de los órganos.

Nivel 3 Pensamiento crítico

1. A pesar de que el razonamiento de Joe tiene sentido desde el punto de vista teórico –hace falta un espermatozoide para fecundar un óvulo– la probabilidad de que esto suceda es muy baja cuando el número de espermatozoides es insuficiente. La mayoría de los millones de espermatozoides que acceden al aparato reproductor femenino muere o sufre daños antes de lograr alcanzar el útero. Algunos de los fármacos responsables de la muerte de tantísimos espermatozoides son el pH ácido, la temperatura y la presencia de inmunoglobulinas en las secreciones vaginales. Los espermatozoides han de atravesar la corona radiada una vez que alcanzan el ovocito secundario, lo que depende de la liberación de enzimas por parte de centenares de ellos. Cuando el recuento de espermatozoides del eyaculado es bajo, es probable que no logren ascender hasta el ovocito y no puedan fecundarlo.

2. Algunos procesos, como la segmentación, la gastrulación y la organogenia se producen a lo largo de los tres primeros meses del embarazo, por lo que el desarrollo embrionario se puede alterar durante este período. Cada célula del embrión en una fase temprana de su desarrollo puede dar lugar a diversos tejidos, por lo que cuanto antes tenga lugar la afectación del desarrollo embrionario, mayor será el número de estructuras afectadas. A menudo, la infección por el virus de la rubéola a lo largo de las 10 primeras semanas de la gestación origina anomalías congénitas cardíacas, cataratas, sordera y retraso mental en el futuro neonato. Al concluir el primer trimestre, se han creado los rudimentos de los principales sistemas orgánicos, por lo que cualquier alteración a partir de este momento tan solo afectará a órganos o sistemas orgánicos específicos.

Apéndice

Pesos y medidas

Raíces, prefijos, sufijos y combinaciones de términos en otras lenguas

Epónimos de uso frecuente

Pesos y medidas

Los objetos físicos no podrían describirse con exactitud en ausencia de un método preciso de presentación de los datos relevantes. Algunas dimensiones, como la longitud y la anchura, se describen en unidades estandarizadas de medida, como centímetros o pulgadas. Estos valores pueden emplearse para calcular el volumen de un objeto, una medida de la cantidad de espacio que ocupa. Otra propiedad física importante de un objeto es su masa, es decir, la cantidad de materia que contiene; en la Tierra, la masa de un objeto determina su peso.

A diferencia de los hispanohablantes, la mayor parte de los lectores estadounidenses describe la longitud y la anchura en pulgadas, pies o yardas, el volumen en pintas, cuartos de galón o galones, y el peso en onzas, libras o toneladas. Estas unidades forman parte del sistema estadounidense de medidas. En la tabla A.1 se resumen las unidades conocidas y menos conocidas que integran este sistema. Se incluye, asimismo, una relación de las «unidades domésticas» que se utilizan a menudo en recetas y libros de cocina. Resulta complicado utilizar las medidas del sistema estadounidense debido a la ausencia de relaciones lógicas entre las distintas unidades. Por ejemplo, un pie se compone de 12 pulgadas, una yarda contiene 3 pies y una milla consta de 1.760 yardas. La conversión de pies en pulgadas o millas en pies puede inducir a confusión y requerir mucho tiempo como consecuencia de esta evidente falta de organización. Tampoco son más lógicas las relaciones existentes entre las onzas líquidas, las pintas, los cuartos de galón, o las onzas, las libras y las toneladas.

Por el contrario, el **sistema métrico** se sustenta en una organización lógica basada en múltiplos de 10, como se muestra en la tabla A.2. Por ejemplo, un **metro** (**m**) representa la unidad básica de medida del tamaño. Los datos de objetos de mayor tamaño se presentan en forma de **decámetros** (*deka*, diez), hectómetros (*hekaton*, cien), o **kilómetros** (**km;** *chilioi*, mil); los datos de objetos más pequeños se pueden describir en **decímetros** (**dm** = 0,1; *decem*, diez), **centímetros** (**cm** = 0,01 m; *centum*, cien), **milímetros** (**mm** = 0,001 m; *mille*, mil), y así sucesivamente. Estos mismos prefijos se utilizan para presentar los datos de peso, basados en el **gramo (g),** y volumen, basados en el **litro (L).** En este texto se han utilizado unidades métricas. En la mayoría de los países del mundo se emplean solamente estas unidades. En la tabla A.2 se incluyen los factores de conversión.

En otros tiempos, en las farmacias se utilizaba el sistema apotecario, un sistema de medidas relativamente especializado que se adoptó de Inglaterra cuando EE. UU. aún era una colonia británica. El sistema métrico ha sustituido en gran parte a este sistema, por lo que no se emplearán unidades apotecarias en este texto. El sistema apotecario contiene solamente volúmenes y pesos y las unidades volumétricas son comparables con las del sistema métrico estadounidense. Las definiciones de unidades de masa difieren en ambos sistemas.

La presentación de los datos de temperaturas también es diferentes en los sistemas métrico y estadounidense: en EE. UU., las temperaturas suelen describirse en grados Fahrenheit (°F), mientras que en los textos científicos y en casi todos los demás países del mundo se presentan en grados centígrados o Celsius (°C). En la sección final de la tabla A.2 se incluye la relación existente entre las temperaturas en grados Fahrenheit y centígrados.

TABLA A.1 Sistema estadounidense de medidas

Propiedad física	Unidad	Relación con otras unidades estadounidenses	Relación con unidades domésticas
Longitud	Pulgada	1 pulgada = 0,083 pies	
	Pie	1 pie = 12 pulgadas = 0,33 yardas	
	Yarda	1 yarda = 36 pulgadas = 3 pies	
	Milla	1 milla = 5.280 pies = 1.760 yardas	
Volumen	Fluidram (fl dr)	1 fl dr = 0,125 oz lq	
	Onza líquida (oz lq)	1 oz lq = 8 fl dr = 0,0625 pt	= 6 cucharillas = 2 cucharas
	Pinta (pt)	1 pt = 128 fl dr = 16 oz lq = 0,5 cuartos	= 32 cucharas = 2 tazas (tz)
	Cuarto de galón	1 cuarto = 256 fl dr = 32 oz lq = 2 pt = 0,25 gal	= 4 tz
	Galón (gal)	1 gal = 128 oz lq = 8 pt = 4 cuartos	
Masa	Grano (gr)	1 gr = 0,002 oz	
	Dram (dr)	1 dr = 27,3 gr = 0,063 oz	
	Onza (oz)	1 oz = 437,5 gr = 16 dr	
	Libra (lb)	1 lb = 7.000 gr = 256 dr = 16 oz	
	Tonelada (t)	1 t = 2.000 lb	

TABLA A. 2 Sistema métrico de medidas

Propiedad física	Unidad	Relación con unidades métricas estándar	Conversión a medidas estadounidenses	
Longitud	Nanómetro (nm)	1 nm = 0,000000001 m (10^{-9})	= 4×10^{-8} pulgada	25.000.000 nm = 1 pulgada
	Micrómetro (µm)	1 µm = 0,000001 (10^{-6})	= 4×10^{-5} pulgada	25.000 m = 1 pulgada
	Milímetro (mm)	1 mm = 0,001 m (10^{-3})	= 0,0394 pulgada	25,4 mm = 1 pulgada
	Centímetro (cm)	1 cm = 0,01 m (10^{-2})	= 0,394 pulgada	2,54 cm = 1 pulgada
	Decímetro (dm)	1 dm = 0,1 m (10^{-1})	= 3,94 pulgada	0,25 dm = 1 pulgada
	Metro (m)	Unidad estándar de medida	= 39,4 pulgada	0,0254 m = 1 pulgada
			= 3,28 pies	0,3048 m = 1 pie
			= 1,09 yardas	0,914 m = 1 yarda
	Decámetro (dam)	1 dam = 10 m		
	Hectómetro (hm)	1 hm = 100 m		
	Kilómetro (km)	1 km = 1.000 m	= 3.280 pies	
			= 1.093 yardas	
			= 0,62 millas	1,609 km = 1 milla
Volumen	Microlitro (µL)	1 µL = 0,000001 L (10^{-6}) = 1 milímetro cúbico (mm^3)		
	Mililitro (mL)	1 mL = 0,001 L (10^{-3}) = 1 centímetro cúbico (cm^3 o cc)	= 0,03 oz lq	5 mL = 1 cucharilla 15 mL = 1 cucharada 30 mL = 1 oz lq
	Centilitro (cL)	1 cL = 0,01 L (10^{-2})	= 0,34 oz lq	3 cL = 1 oz lq
	Decilitro (dL)	1 dL = 0,1 L (10^{-1})	= 3,38 oz lq	0,29 dL = 1 oz lq
	Litro (L)	Unidad estándar de volumen	= 33,8 oz lq	0,0295 L = 1 oz lq
			= 2,11 pt	0,473 L = 1 pt
			= 1,06 cuartos	0,946 L = 1 cuarto
Masa	Picogramo (pg)	1 pg = 0,000000000001 g (10^{-12})		
	Nanogramo (ng)	1 ng = 0,000000001 (10^{-9})		
	Microgramo (µg)	1 µg = 0,000001 g (10^{-6})	= 0,000015 gr	66,666 µg = 1 gr
	Miligramo (mg)	1 mg = 0,001 g (10^{-3})	= 0,015 gr	66,7 mg = 1 gr
	Centigramo (cg)	1 cg = 0,01 g (10^{-2})	= 0,15 gr	6,7 dg = 1 gr
	Decigramo (dg)	1 dg = 0,1 g (10^{-1})	= 1,5 gr	0,67 dg = 1 gr
	Gramo (g)	Unidad estándar de masa	= 0,035 oz	28,35 g = 1 oz
			= 0,0022 lb	453,6 g = 1 lb
	Decagramo (dag)	1 dag = 10 g		
	Hectogramo (hg)	1 hg = 100 g		
	Kilogramo (kg)	1 kg = 1000 g	= 2,2 lb	0,453 kg = 1 lb
	Tonelada métrica (tm)	1 tm = 1.000 kg	= 1,1 t	
			= 2.205 lb	0,907 tm = 1 t
Temperatura	**Celsius**	**Fahrenheit**		
Punto de congelación del agua pura	0°	32°		
Temperatura corporal normal	36,8°	98,6°		
Punto de ebullición del agua pura	100°	212°		
Conversión °C→°F:	°F = (1,8 × °C) + 32	°F→°C: °C = (°F – 32) × 0,56		

Raíces, prefijos, sufijos y combinaciones de términos en otras lenguas

Muchos de los vocablos que forman parte del español hoy en día proceden de otros idiomas, en especial del griego y el latín. Esto es especialmente cierto en el caso de los términos anatómicos, muchos de los cuales fueron creados por anatomopatólogos griegos y romanos. En esta relación se incluyen algunas de las raíces, prefijos, sufijos y combinaciones que aparecen en muchos términos biológicos y anatómicos que encontrará en las páginas de esta obra.

a-, *a-,* sin: avascular
ab-, *ab,* de: abducir
-ac, *-akos,* relativo a: cardíaco
ad-, *ad,* hacia: adducir
aden-, adeno-, *adenos,* glándula: adenoide
af-, *ad,* hacia: aferente
-al, *-alis,* relativo a: braquial
-algia, *algos,* dolor: neuralgia
ana-, *ana,* arriba, atrás: anafase
andro-, *andros,* masculino: andrógeno
angio-, *angeion,* vaso: angiograma
anti-, ant-, *anti,* contrario: antibiótico
apo-, *apo,* de: apocrino
arac-, *arachne,* araña: aracnoideo
artro-, *arthros,* articulación: artroscopia
-asis, -asia, estado, condición: homeostasia
astro-, *aster,* estrella: astrocito
atel-, *ateles,* imperfecto: atelectasia
baro-, *baros,* presión: barorreceptor
bi-, *bi-,* dos: bifurcar
blast-, -blast, *blastos,* precursor: blastocito
bradi-, *bradys,* lento: bradicardia
braqui-, *brachium,* brazo: braquiocefalia
bronc-, *bronchus,* tráquea, vía aérea: bronquial
cardi-, cardio-, -cardia, *kardia,* corazón: cardíaco
cario-, *karyon,* cuerpo: megacariocito
celo-, -cele, *koila,* cavidad: celoma
-centesis, *kentesis,* punción: toracocentesis
cerebro-, *cerebrum,* cerebro: cerebroespinal
cina-, cinin-, *kinein:* moverse: bradicinina
circun-, *circum,* alrededor, circunducción
cist-, -cist, *kystis,* saco: blastocisto
-clas, *klastos,* roto: osteoclasto
cole, *chole,* bilis: colecistitis
condro-, *chondros,* cartílago: condrocito
contra-, *contra,* contra: contralateral
craneo-, *cranium,* cráneo: craneosacro
crib-, *cribrum,* tamiz: cribiforme
-crino, *krinein,* separar: endocrino
crom-, cromo-, *chroma,* color: cromatina
desmo-, *desmos:* banda: desmosoma
di-, *dis,* dos veces: disacárido
dia-, *dia,* a través: diámetro
dis-, *dys-,* doloroso: dismenorrea
diur-, *diourein,* orinar: diuresis
-ectasia, *ektasis,* expansión: atelectasia
ecto-, *ektos,* fuera: ectodermo
ef-, *ex,* fuera de: eferente
emetro-, *emmetros,* medida correcta: emetropía
encefalo-, *enkephalos,* cerebro: encefalitis
end-, endo-, *endos,* dentro: endometrio
entero-, *enteron,* intestino: entérico
epi-, *epi,* sobre: epimisio
eritema-, *erythema,* enrojecido (piel): eritematosis
eritro-, *erythros,* rojo: eritrocito
escler-, esclero-, *skleros,* duro: esclera
espino-, *spina,* espina, columna vertebral: espinodeltoides
estilo-, *stylus,* estaca, poste: estiloides
ex-, *ex,* fuera, lejos de: exocitosis
-fasia, *phasis,* habla: afasia
ferr-, *ferrum,* hierro: transferrina
-fil, -filia, *philus,* amor: hidrófilo
-filaxis, *phylax,* vigilante: profilaxis
fisio-, *physis,* naturaleza: fisiología
-fobo, -fobia, *phobos,* temor: hidrófobo
-gen, -génico, *gennan,* producir: mutágeno
genicula-, *geniculum,* estructura similar a la rodilla: geniculado
genio-, *geneion,* barbilla: geniohioideo
gine-, gino-, *gynaikos,* mujer: ginecólogo
gloso-, *glossus,* lengua: hipogloso
gluco- *glykis,* azúcar: glucógeno
-grafía, *graphein,* escribir, registrar: electroencefalograma
-grama, *gramma,* registro: miograma
hem-, hemato-, *haima,* sangre: hematopoyesis
hemi-, *hemi-,* mitad: hemisferio
hepato-, *hepaticus,* hígado: hepatocito
hetero-, *heteros,* otro: heterosexual
hial-, hialo-, *hyalos,* cristal: hialino
hidro-, *hydros,* agua: hidrólisis
hio-, *hyoeides,* en forma de U: hioides
hiper-, *hyper,* encima: hiperpolarización
histo-, *histos,* tejido: histología
holo-, *holos,* entero: holocrino
homeo-, homo-, *homos,* igual: homeostasis
ili-, ilio-, *ilium:* ilíaco
infra-, *infra,* por debajo: infraorbital
inter-, *inter,* entre: interventricular
intra-, *intra,* dentro: intracapsular
ipso-, *ipse,* por sí mismo: ipsolateral
iso-, *isos,* igual: isotónico
-itis, *-itis,* inflamación: dermatitis
lact-, lacto-, -lactina, *lac,* leche: prolactina
-lema, *lemma,* cáscara: plasmalema
leuco-, *leukos,* blanco: leucocito
liga-, *ligare,* unir: ligasa
lip-, lipo-, *lipos,* grasa: lipoide
liso-, -lisis, -lisar, *lysis,* disolución: hidrólisis
mal-, *mal,* anómalo: malabsorción
mamila-, *mamilla,* con forma de pezón: mamilar
mast-, masto-, *mastos,* mama: mastoideo
mega-, *megas,* grande: megacariocito
mero-, *meros,* parte: merocrino
meso-, *mesos,* medio: mesodermo
meta-, *meta,* detrás, más allá: metafase
mielo-, *myelos,* médula: mieloblasto
mio-, *mys,* músculo: miofilamento
mono-, *monos,* único: monocito
morfo-, *morphe,* forma: morfología
-mural, *murus,* pared: intramural
natri-, *natrium,* sodio: natriurético
neur-, *neuro-,* neuron, nervio: neuromuscular
oculo-, *oculus,* ojo: oculomotor
oligo-, *oligos,* pequeño, escaso: oligopéptido
-ología, *logos,* estudio de: fisiología
-oma, *-oma,* tumefacción: carcinoma
onco-, *onkos,* masa, tumor: oncología
-opia, *ops,* ojo: óptica
-osis, *-osis,* estado, condición: neurosis
osteo-, *osteo-,* os, hueso: osteocito
oto-, *otikos,* oído: otoconia
para-, *para,* más allá: paraplejía
pato-, pat-, -patía, *pathos,* enfermedad: patología
pedia-, *paidos,* niño: pediatra
peri-, *peri,* alrededor: perineuro
-plasia, *plasis,* formación: displasia
plati-, *platys,* plano: platisma
-plejía, *plege,* arco, parálisis: paraplejía
-plexia, *plessein,* golpear: apoplexia
podo-, *podon,* pie: podocito
poli-, *polys,* muchos: polisacárido
-poyesis, *poiesis,* fabricación: hematopoyesis
presbi-, *presbys,* viejo: presbiopía
pro-, *pro,* antes: profase
pterigo-, *pteryx,* ala: pterigoideo
pulp-, *pulpa,* carne: pulpitis
querato-, *keros,* cuerno: queratina
retro-, *retro,* hacia atrás: retroperitoneal
-rrea, *rhein,* flujo, secreción: amenorrea
sarco-, *sarkos,* carne: sarcómero
semi-, *semis,* medio: semitendinoso
-séptico, *septikos,* pútrido: antiséptico
sin-, *syn,* junto: síntesis
-sis, estado, condición: metástasis
som-, -soma, *soma,* cuerpo: somático
-stomía, *estoma,* boca, orificio: colostomía
sub-, *sub,* por debajo: subcutáneo
taqui-, *tachys,* rápido: taquicardia
telo-, *telos,* final: telofase
term-, termo-, *therme,* calor: termorregulación
-tomía, *temnein,* cortar: apendectomía
trans-, *trans,* a través: transudar
trofo-, *trophe,* nutrición: trofoblasto
-trópico, -tropina-, -ótropo, *trophikos,* alimenticio: adrenocorticotrópico
tropo-, *tropikos,* cruce: troponina
uro-, -uria, *ouron,* orina: glucosuria

Epónimos de uso frecuente

Epónimo	Términos equivalentes	Persona a la que se refieren
NIVEL CELULAR DE ORGANIZACIÓN (CAPÍTULO 2)		
Aparato de Golgi		Camillo Golgi (1844-1926), histólogo italiano; compartió el premio Nobel en 1906
Ciclo de Krebs	Ciclo del ácido tricarboxílico o ácido cítrico	Hans Adolph Krebs (1900-1981), bioquímico británico; compartió el premio Nobel en 1953
SISTEMA ÓSEO (CAPÍTULOS 5-8)		
Fractura de Colles		Abraham Colles (1773-1843), cirujano irlandés
Canales de Havers	Canales centrales	Clopton Havers (1650-1702), anatomopatólogo y microscopista inglés
Sistemas de Havers	Osteonas	Clopton Havers (1650-1702), anatomopatólogo y microscopista inglés
Fractura de Pott		Percivall Pott (1714-1788), cirujano inglés
Fibra de Sharpey	Fibras perforantes	William Sharpey (1802-1880), histólogo y fisiólogo escocés
Canales de Volkmann	Canales perforantes	Alfred Wilhelm Volkmann (1800-1878), cirujano alemán
Huesos de Worm	Huesos de la sutura	Olas Worm (1588-1654), anatomopatólogo danés
SISTEMA MUSCULAR (CAPÍTULOS 9-11)		
Tendón de Aquiles	Tendón calcáneo	Aquiles, héroe de la mitología griega
Ciclo de Cori		Carl Ferdinand Cori (1896-1984) y Gerty Theresa Cori (1896-1957), bioquímicos estadounidenses; compartieron el premio Nobel en 1947
SISTEMA NERVIOSO (CAPÍTULOS 13-17)		
Centro de Broca	Centro del habla	Pierre Paul Broca (1824-1880), cirujano francés
Agujero de Luschka	Agujero lateral	Hubert von Luschka (1820-1875), anatomopatólogo alemán
Agujero de Magendie	Agujero mediano	François Magendie (1783-1855), fisiólogo francés
Agujero de Munro	Agujero interventricular	John Cummings Munro (1858-1910), cirujano estadounidense
Cuerpos de Nissl	Sustancia cromatofílica	Franz Nissl (1860-1919), neurólogo alemán
Células de Purkinje		Johannes E. Purkinje (1787-1869), fisiólogo checo
Nódulos de Ranvier	Espacios en vaina de mielina	Louis Antoine Ranvier (1835-1922), fisiólogo francés
Ínsula de Reil	Ínsula	Johann Christian Reil (1759-1813), anatomopatólogo alemán
Fisura de Rolando	Surco central	Luigi Rolando (1773-1831), anatomopatólogo italiano
Células de Schwann		Theodor Schwann (1810-1882), anatomopatólogo alemán
Acueducto de Silvio	Acueducto mesencefálico	Jacobus Sylvius (Jacques Dubois, 1478-1555), anatomopatólogo francés
Cisura de Silvio	Surco lateral	Franciscus Sylvius (Franz de le Boë, 1614-1672), anatomopatólogo holandés
Protuberancia de Varolio	Protuberancia	Costanzo Varolio (1543-1575), anatomopatólogo italiano
FUNCIÓN SENSORIAL (CAPÍTULO 18)		
Órgano de Corti		Alfonso Corti (1822-1888), anatomopatólogo italiano
Trompa de Eustaquio	Trompa auditiva	Bartolomeo Eustaquio (1520-1574), anatomopatólogo italiano
Órganos de los tendones de Golgi	Órganos de los tendones	*Véase* aparato de Golgi *en* «Anatomía celular» (capítulo 2, p. 41)
Hertz (Hz)		Heinrich Hertz (1857-1894), físico alemán
Glándulas de Meibomio		Heinrich Meibomio (1638-1700), anatomopatólogo alemán
Corpúsculos de Meissner	Corpúsculos táctiles	Georg Meissner (1829-1905), fisiólogo alemán
Discos de Merkel	Discos táctiles	Friedrich Siegismund Merkel (1845-1919), anatomopatólogo alemán
Corpúsculos de Pacini	Corpúsculos laminados	Filippo Pacini (1812-1883), anatomopatólogo italiano
Corpúsculos de Ruffini		Angelo Ruffini (1864-1929), anatomopatólogo italiano
Canal de Schlemm	Seno venoso escleral	Friedrich S. Schlemm (1795-1858), anatomopatólogo alemán
Glándula de Zeis		Edgard Zeis (1807-1868), oftalmólogo alemán
SISTEMA ENDOCRINO (CAPÍTULO 19)		
Islotes de Langerhans	Islotes pancreáticos	Paul Langerhans (1847-1888), anatomopatólogo alemán
Células intersticiales de Leydig	Células intersticiales	Franz von Leydig (1821-1908), anatomopatólogo alemán

Epónimo	Términos equivalentes	Persona a la que se refieren
APARATO CARDIOVASCULAR (CAPÍTULOS 20-22)		
Haz de His		Wilhelm His (1863-1934), médico alemán
Células de Purkinje		*Véase en* «Sistema nervioso» (capítulos 13-17)
Ley de Starling		Ernest Henry Starling (1866-1927), fisiólogo inglés
Círculo de Willis	Círculo arterial cerebral	Thomas Willis (1621-1675), médico inglés
SISTEMA LINFÁTICO (CAPÍTULO 23)		
Corpúsculos de Hassall	Corpúsculos tímicos	Arthur Hill Hassall (1817-1894), médico inglés
Células de Kupffer	Células reticuloendoteliales estrelladas	Karl Wilhelm Kupffer (1829-1902), anatomopatólogo alemán
Células de Langerhans		*Véase* islotes de Langerhans *en* «Sistema endocrino» (capítulo 19)
Placas de Peyer	Nódulos linfáticos agregados	Johann Conrad Peyer (1653-1712), anatomopatólogo suizo
APARATO RESPIRATORIO (CAPÍTULO 24)		
Nuez de Adam	Prominencia laríngea del cartílago tiroideo	Referencia bíblica
Efecto de Bohr		Cristian Bohr (1855-1911), fisiólogo danés
Ley de Boyle		Robert Boyle (1621-1691), físico inglés
Ley de Charles		Jacques Alexandre César Charles (1746-1823), físico francés
Ley de Dalton		John Dalton (1766-1844), físico inglés
Ley de Henry		William Henry (1775-1837), químico Inglés
APARATO DIGESTIVO (CAPÍTULO 25)		
Plexo de Auerbach	Plexo mientérico	Leopold Auerbach (1827-1897), anatomopatólogo alemán
Glándulas de Brunner	Glándulas submucosas duodenales	Johann Conrad Brunner (1653-1727), anatomopatólogo suizo
Células de Kupffer	Células reticuloendoteliales estrelladas	*Véase en* «Sistema linfático» (capítulo 23)
Criptas de Lieberkuhn	Criptas intestinales (glándulas intestinales)	Johann Nathaniel Lieberkuhn (1711-1756), anatomopatólogo alemán
Plexo de Meissner	Plexo submucoso	*Véase* corpúsculos de Meissner *en* «Sistema nervioso» (capítulo 18)
Esfínter de Oddi	Esfínter hepatopancreático	Ruggero Oddi (1864-1913), médico italiano
Placas de Peyer	Nódulos linfáticos agregados	*Véase en* «Sistema linfático» (capítulo 23)
Conducto de Santorini	Conducto pancreático accesorio	Giovanni Domenico Santorini (1681-1737), anatomopatólogo italiano
Conducto de Stensen	Conducto parotideo	Niels Stensen (1638-1686), médico/reverendo danés
Ampolla de Vater	Ampolla duodenal	Abraham Vater (1684-1751), anatomopatólogo alemán
Conducto de Wharton	Conducto submandibular	Thomas Wharton (1614-1673), médico inglés
Agujero de Winslow	Agujero epiploico	Jacob Benignus Winslow (1669-1760), anatomopatólogo francés
Conducto de Wirsung	Conducto pancreático	Johann Georg Wirsung (1600-1643), médico alemán
APARATO URINARIO (CAPÍTULO 26)		
Cápsula de Bowman	Cápsula glomerular	Sir William Bowman (1816-1892), médico inglés
Asas de Henle	Asa neuronal	Friedrich Gustav Jakob Henle (1809-1885), histólogo alemán
Glándulas de Littre	Glándulas uretrales	Alexis Littre (1658-1726), cirujano francés
APARATO REPRODUCTOR (CAPÍTULOS 27-28)		
Glándulas de Bartholin	Glándulas vestibulares mayores	Casper Bartholin, hijo (1655-1738), anatomopatólogo danés
Glándulas de Cowper	Glándulas bulbouretrales	William Cowper (1666-1709), cirujano inglés
Trompa de Falopio	Trompa uterina/oviducto	Gabriele Falopio (1523-1562), anatomopatólogo italiano
Folículo de Graaf	Folículo terciario	Reijnier de Graaf (1641-1673), médico holandés
Células interesticiales de Leydig	Células intersticiales	*Véase en* «Sistema endocrino» (capítulo 19)
Células de Sertoli	Células nodrizas (células sustentaculares)	Enrico Sertoli (1842-1910), histólogo italiano

Glosario de términos clave

abdomen: Región del tronco limitada por el diafragma y la pelvis.
abducción: Movimiento que tiene a alejarse de la línea media.
abducens: Nervio craneal VI; inerva el músculo recto lateral del ojo.
aborto: Pérdida prematura o expulsión de un embrión o feto.
absceso: Colección localizada de pus dentro de un tejido lesionado.
absorción: Captación activa o pasiva de gases, líquidos o solutos.
acalasia: Trastorno producido porque el esfínter esofágico inferior no se dilata y los materiales ingeridos no pueden entrar al estómago.
accidente cerebrovascular (ACV): Ictus; oclusión de un vaso que irriga una porción del encéfalo, que produce lesiones en las neuronas que dependen de él.
acetábulo: Fosa en la cara lateral de la pelvis para acomodar la cabeza del fémur.
acetilcolina (ACh): neurotransmisor químico en el encéfalo y el SNP; es el neurotransmisor que predomina en el SNP y se libera en las sinapsis neuromusculares y de la división parasimpática.
acetilcolinesterasa: Enzima presente en la hendidura sináptica, unida a la membrana posináptica, y en los líquidos tisulares; degrada las moléculas de ACh y las inactiva.
ácido: Compuesto cuya disociación en solución libera un ión hidrógeno y un anión; una solución ácida tiene un pH inferior a 7 y contiene un exceso de iones de hidrógeno.
ácido desoxirribonucleico (ADN): Hebra del ADN: ácido nucleico constituido por una cadena de nucleótidos que contiene el azúcar desoxirribosa y las bases nitrogenadas adenina, guanina, citosina y timina. Molécula de ADN: dos hebras de ADN enlazadas en una doble hélice y que se mantienen unidas mediante enlaces débiles entre los pares de bases de nitrógeno complementarias.
ácido gamma-aminobutírico (GABA): Neurotransmisor del SNC cuyos efectos suelen ser inhibidores.
ácido hialurónico o hialuronano: Proteoglucano de la matriz de muchos tejidos conjuntivos que dota a la matriz de su consistencia viscosa; también se comporta como un cemento intercelular.
ácido láctico: Compuesto producido a partir del ácido pirúvico durante la glucólisis.
ácido muriático: Ácido clorhídrico (HCl).
ácido nucleico: Polímero de nucleótidos que contiene un azúcar pentosa, un grupo fosfato y una de cuatro bases nitrogenadas, que regula la síntesis de proteínas y constituye la dotación genética de las células.
ácido pirúvico: Compuesto de tres carbonos producido mediante glucólisis.
ácido ribonucleico (ARN): Ácido nucleico constituido por una cadena de nucleótidos que contienen el azúcar ribosa y las bases nitrogenadas adenina, guanina, citosina y uracilo.
ácidos grasos: Cadenas de hidrocarburos que terminan en un grupo carboxilo.
ácino: Término histológico referido a una bolsa ciega, fondo de saco o saco.
acné: Trastorno caracterizado por la inflamación de las glándulas sebáceas y los folículos; suele aparecer en adolescentes y con frecuencia afecta a la cara.
acomodación: Alteraciones de la curvatura del cristalino para enfocar una imagen sobre la retina; reducción de la sensibilidad o percepción del receptor tras una estimulación crónica.
acromegalia: Trastorno ocasionado por la secreción excesiva de hormona de crecimiento en el adulto, caracterizada por un engrosamiento de los huesos e hipertrofia de los cartílagos y otros tejidos blandos.
acromion: Continuación de la espina escapular que se proyecta superior a la cápsula de la articulación del hombro.
actina: Componente proteico de los microfilamentos; forma filamentos finos en los músculos estriados e induce contracciones de todos los músculos gracias a su interacción con los filamentos gruesos (miosina); *véase* **teoría de los filamentos deslizantes.**
acueducto del mesencéfalo: Vía que conecta el tercer ventrículo (diencéfalo) con el cuarto (metencéfalo).
acústico: Relativo o relacionado con el sonido o el sentido de la audición.
adaptación: Alteración del tamaño pupilar en respuesta a cambios en la intensidad de la luz; en el SNC se suele emplear como sinónimo de **acomodación:** respuestas fisiológicas que provocan aclimatación.
adenina: Purina, una de las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos ARN y ADN.
adenohipófisis: Lóbulo anterior de la hipófisis, llamada también *hipófisis anterior* o **parte distal**.
adenoides: Amígdala faríngea.
adenosina trifosfato (ATP): Compuesto rico en energía constituido por adenosina con tres grupos de fosfato unidos; el tercero se une a través de un enlace rico en energía.
adherencias: Fusión de dos capas del mesenterio tras una lesión o irritación de sus superficies opuestas.
adipocito: Célula adiposa.
aducción: Movimiento hacia el eje o línea media corporal visto en posición anatómica.
adventicia: Capa superficial de tejido conjuntivo que rodea a los órganos internos; las fibras están en continuidad con las de los tejidos circundantes y dan soporte y estabilización.
afasia: Incapacidad de hablar.
aferente: Dirigido hacia una zona receptora central.
aglutinación: Agregación de los eritrocitos por interacciones entre los aglutinógenos de superficie y las aglutininas plasmáticas.
agonista: Músculo responsable de un movimiento específico.
agranular: Sin gránulos; los **leucocitos agranulares** sin los monocitos y los linfocitos; el **retículo agranular** es un orgánulo intracelular que sintetiza y almacena carbohidratos y lípidos.
agudo: De aparición súbita, intensidad grave y duración corta.
aguja hipodérmica: Aguja que se introduce por la piel para administrar fármacos en la capa subcutánea.
agujero: Apertura o entrada en un hueso.
agujero interventricular: Agujero que permite el desplazamiento del líquido entre los ventrículos laterales y el tercer ventrículo.
alantoides: Una de las membranas extraembrionarias; aporta vascularización al corion y resulta esencial para la formación de la placenta; la porción proximal se convierte en la vejiga urinaria.
***alba, albicans,* albugínea:** Blanco.
albinismo: Ausencia de pigmento en el pelo y la piel producido por la incapacidad del organismo de elaborar melanina.
albúminas: Menor de las proteínas plasmáticas; funcionan como proteínas de transporte y son importantes porque contribuyen a la presión oncótica del plasma.
aldosterona: Mineralocorticoesteroide (esteroide) producido en la zona glomerular de la corteza suprarrenal y que estimula la conservación del agua y el sodio en los riñones; se secreta en respuesta a la presencia de angiotensina II.
aldosteronismo: Trastorno provocado por la hipersecreción de aldosterona, caracterizado por retención de líquidos, edema e hipertensión.
alvéolo: Bolsas ciegas que se encuentran al final del árbol respiratorio revestidas por un epitelio escamoso simple y rodeadas de una red capilar; en ellos se produce el intercambio de gases con la sangre.
amígdala: Nódulo linfático situado debajo del epitelio de la faringe; incluye las palatinas, faríngeas y linguales.
amígdala (núcleo amigdaloideo): Núcleo basal que forma parte del sistema límbico y actúa como superficie de contacto entre este sistema, el cerebro y el sistema sensitivo.
amilasa: Enzima que degrada los polisacáridos y se produce en las glándulas salivales y el páncreas.
aminoácidos: Compuestos orgánicos cuya estructura química se puede resumir como R6$CHNH_2COOH$.
amnesia: Pérdida temporal o permanente de la memoria.
amniocentesis: Obtención de líquido amniótico para su análisis; se emplea para detectar algunos tipos de alteraciones genéticas.
amnios: Una de las membranas extraembrionarias; rodea al embrión/feto en desarrollo.
ampolla: Dilatación localizada en la luz de un conducto o vía.
ampolla duodenal: Cámara que recibe la bilis del conducto colédoco y las secreciones pancreáticas del conducto pancreático.
anabolismo: Síntesis de compuestos orgánicos complejos a partir de precursores más sencillos.
anafase: Estadio de la mitosis en el que las cromátidas pares se separan y se desplazan hacia los extremos opuestos del huso mitótico.
analgesia: Alivio del dolor.
análisis de orina: Análisis de las características químicas y físicas de la orina.
anastomosis: Unión entre dos tubos, en general para aludir a las conexión entre dos vasos periféricos sin un lecho capilar interpuesto.
anatomía: Estudio de la estructura del cuerpo.
anatomía macroscópica: Estudio de las características estructurales del cuerpo humano sin ayuda de un microscopio.
andrógeno: Hormona sexual esteroidea producida principalmente por las células intersticiales testiculares y que se fabrica en cantidades pequeñas en la corteza suprarrenal de pacientes de ambos sexos.
anemia: Trastorno caracterizado por un valor de hematocrito bajo, disminución de la concentración de hemoglobina sanguínea o ambos.
anencefalia: Malformación congénita caracterizada por un desarrollo incompleto de los hemisferios cerebrales y el cráneo.
anestesia: Pérdida total o parcial de la sensibilidad en una región corporal.
aneurisma: Debilitamiento con dilatación localizada de la pared de un vaso.
anfiartrosis: Articulación que permite un grado pequeño de movimiento independiente.
anfimixis: Fusión de los pronúcleos femenino y masculino tras la fecundación.
angiografía: Estudio radiológico de la distribución de los vasos tras la introducción de un contraste radioopaco dentro del torrente circulatorio.

angiograma: Imagen radiológica de la vía circulatoria.
angiotensina I, II: La angiotensina II es una hormona que aumenta la presión arterial sistémica, estimula la secreción de aldosterona, induce sed y provoca la liberación de ADH; una enzima convertidora de los capilares pulmonares convierte la angiotensina I en angiotensina II.
angiotensinógeno: Proteína de la sangre elaborada en el hígado que se convierte en angiotensina I por la enzima renina.
anhidrasa carbónica: Enzima que cataliza la reacción $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$; importante en el transporte de dióxido de carbono, la secreción de ácido gástrico y la regulación del pH renal.
anillo: Cartílago o hueso con forma anular.
anillo traqueal: Cartílago de soporte en forma de C de la tráquea.
ano: Desembocadura externa del conducto anal.
anorexia nerviosa: Trastorno de la alimentación que se caracteriza por falta de apetito e importante pérdida de peso.
anoxia: Privación de oxígeno tisular.
anquiloglosia: Trastorno caracterizado por un frenillo lingual exageradamente robusto y restrictivo.
antagonista: Músculo que se opone al movimiento de un agonista.
antebraquial: Relativo al antebrazo.
antebrazo: Parte distal del miembro superior entre el codo y la muñeca.
anteflexión: Posición normal del útero, en la que la cara superior está inclinada hacia delante.
anterior: Situado cerca o a nivel de la superficie frontal o ventral del cuerpo.
antibiótico: Sustancia química que destruye de forma selectiva los gérmenes patógenos.
anticoagulante: Compuesto que previene o retrasa la formación de un coágulo al interferir con el sistema de la coagulación.
anticuerpo: Proteína globular producida por las células plasmáticas, que se liga a antígenos específicos e induce su destrucción o eliminación del organismo.
antígeno: Sustancia capaz de inducir la producción de anticuerpos.
antígeno leucocitario común (HLA): Antígenos de las superficies celulares importantes para el reconocimiento de los antígenos extraños y que interviene en la coordinación y activación de la respuesta inmunitaria.
antro: Cámara o bolsa.
anuria: Interrupción de la producción de orina.
aorta: Arteria elástica de gran calibre que aleja la sangre del ventrículo izquierdo y la lleva al circuito sistémico.
aparato digestivo: El tubo digestivo y sus glándulas asociadas.
aparato de Golgi: Orgánulo celular constituido por una serie de láminas membranosas que da origen a los lisosomas y las vesículas de secreción.
apéndice: Tubo ciego que se conecta con el ciego del intestino grueso.
apendicitis: Inflamación del apéndice.
apendicular: Relativo a los miembros superiores o inferiores.
apnea: Interrupción de la respiración.
apófisis coracoides: Prolongación a modo de gancho de la escápula que se proyecta por encima de la superficie anterior de la cápsula de la articulación del hombro.
apófisis espinosas: Prominente proyección posterior de una vértebra, formada por la fusión de dos láminas.
apófisis xifoides: Extensión inferior delgada del esternón.
aponeurosis: Amplia vaina tendinosa que puede ser el origen o la inserción para un músculo estriado.
aracnoides: Capa intermedia de las meninges que rodean al LCR y protegen el sistema nervioso central.
árbol bronquial: Tráquea, bronquios y bronquíolos.
árbol de la vida: Masa central ramificada de sustancia blanca dentro del cerebelo.
arborizaciones terminales: Ramas terminales del axón que terminan en unos botones terminales; llamadas también *telodendria*.
arciforme: Con forma de curva.
arco reflejo: El receptor, la neurona sensitiva, la motoneurona y el efector implicados en un reflejo determinado; las interneuronas pueden aparecer o no, según el reflejo del que se trate.
áreas de asociación: Áreas corticales cerebrales responsables de la integración de los impulsos sensitivos y/o de las órdenes motoras.
aréola: Área pigmentada que rodea al pezón de una mama.
areolar: Que contiene espacios diminutos, como sucede en el tejido conjuntivo areolar.
ARN mensajero (ARNm): ARN formado en el momento de la transcripción para la síntesis directa de proteínas en el citoplasma.
arreflexia: Ausencia de las respuestas reflejas normales ante una estimulación.
arritmias: Patrones anormales de las contracciones cardíacas.
arteria: Vaso que aleja la sangre del corazón y la lleva hacia los capilares periféricos.
arteria carótida: Arteria principal del cuello, que irriga las estructuras cervicales y craneales; una de sus ramas, la arteria carótida interna, es el principal aporte sanguíneo para el encéfalo.
arteriola: Pequeña rama arterial que aporta sangre a una red capilar.
arteriola aferente: Arteriola que aporta sangre al glomérulo renal.
arteriola eferente: Arteriola que aleja la sangre del glomérulo renal.
articulación: Uniones entre los huesos; formación de las palabras.
articular: Relativo a una articulación.
artritis: Inflamación de una articulación.
artroscopio: Dispositivo de fibra óptica diseñado para visualizar el interior de las articulaciones; se puede emplear para algunos tipos de cirugía articular.
asa de la nefrona: Segmento de la nefrona situado entre los túbulos contorneados distal y proximal. Llamada también *asa de Henle*.
ascitis: Hiperproducción y acumulación de líquido peritoneal.
aséptico: Libre de contaminación por patógenos.
asfixia: Pérdida de conciencia por la falta de oxígeno en el SNC.
asma: Constricción reversible del músculo liso que rodea a las vías respiratorias y que a menudo se relaciona con una respuesta alérgica.
aspirar: Eliminar u obtener mediante aspiración; inhalar.
asta: Cuerno.
astigmatismo: Trastorno visual provocado por la irregularidad de la forma de la córnea.
astrocito: Una de las células gliales del SNC.
ataque isquémico transitorio: Pérdida temporal de la conciencia por la oclusión de un vaso de pequeño calibre del encéfalo.
atelectasia: Colapso total o parcial de un pulmón.
aterosclerosis: Formación de placas grasas dentro de las paredes arteriales, que alteran la circulación.
atresia: Cierre o desarrollo incompleto de una cavidad; se utiliza en el aparato reproductor para aludir a la degeneración de los folículos ováricos en desarrollo.
atrofia: Adelgazamiento de los tejidos por falta de uso o alteraciones nutricionales.
aurícula: Cámaras cardíacas de pared delgada que reciben la sangre venosa de los circuitos venoso o pulmonar.
autoinmunidad: Sensibilidad del sistema inmunitario frente a las células y tejidos normales, que se traduce en la formación de autoanticuerpos.
autólisis: Destrucción de una célula por rotura de sus membranas lisosómicas dentro del citoplasma.
automatismo: Despolarización espontánea hasta el umbral, característica de las células marcapasos cardíacas.
autopsia: Examen detallado del cuerpo tras la muerte, que suele realizar un anatomopatólogo.
autorregulación: Alteraciones en la actividad que mantiene la homeostasia en respuesta directa a cambios del entorno local; no es preciso un control neural o endocrino.
autosómico: Cromosomas distintos de los X e Y que determinan el sexo genético del individuo.
avascular: Exento de vasos sanguíneos.
avulsión: Lesión que se produce por arrancamiento violento de los tejidos corporales.
axila: Hueco axilar.
axolema: Membrana plasmática de un axón, que se continúa de la membrana celular del soma y las dendritas, y que es distinta de las cubiertas de las células gliales.
axón: Prolongación elongada de una neurona que conduce el potencial de acción lejos del soma y hacia las terminaciones sinápticas.
axón amielínico: Axón cuyo neurilema no contiene mielina y en el que se produce una conducción continua.
axoplasma: Citoplasma dentro del axón.
bacterias: Microorganismos unicelulares, algunos patógenos, frecuentes en el ambiente.
barorrecepción: Capacidad de detectar cambios en la presión.
barorreceptores: Receptores encargados de la barorrecepción.
barrera hematoencefálica: Separación del SNC de la circulación general; es consecuencia fundamentalmente de la regulación por parte de los astrocitos de la permeabilidad capilar.
barrera hematotesticular: Aislamiento de los túbulos seminíferos de la circulación general por las actividades de las células nodriza (de Sertoli).
base: Compuesto cuya disociación libera un ión hidróxido (OH^-) o elimina un hidrogenión de la solución.
basófilos: Granulocitos circulantes (GB) de tamaño y función parecida a los mastocitos tisulares.
bastón: Fotorreceptor responsable de la visión en condiciones de escasa iluminación.
bazo: Órgano linfático importante para la fagocitosis de los eritrocitos, la respuesta inmunitaria y la producción de linfocitos.
benigno: No maligno.
bifurcar: Dividirse en dos ramas.
bilirrubina: Pigmento rojizo, producto del catabolismo de la hemoglobina.
bilis: Secreción exocrina hepática que se almacena en la vesícula biliar y se excreta hacia el duodeno.
biopsia: Extirpación de una pequeña muestra de tejido para su análisis anatomopatológico.
blastocele: Cavidad llena de líquido dentro de un blastocisto.
blastocisto: Estadio precoz del embrión en desarrollo, que comprende un trofoblasto externo y una masa celular interna.
blastodisco: Estadio más avanzado del desarrollo de la masa celular interna, que incluye las células que luego formarán el embrión.
blastómero: Una de las células de la mórula, colección de células producidas por la división del cigoto.
bloqueo cardíaco: Arritmia cardíaca debida a retrasos en la conducción que afectan a la comunicación entre las aurículas y los ventrículos.
bloqueo epidural: Anestesia causada por la eliminación de las aportaciones sensitivas de las raíces nerviosas dorsales tras la introducción de fármacos en las regiones adecuadas del espacio epidural.
bocio: Aumento difuso del tamaño de la glándula tiroides.
bolo: Masa compacta; en general, se refiere al material ingerido compactado que circula hacia el estómago.
bolsa: Pequeño saco relleno de líquido sinovial que amortigua las estructuras adyacentes y reduce el rozamiento.
bomba toracoabdominal: Cambios de las presiones intrapleurales durante el ciclo respiratorio para ayudar al retorno venoso al corazón.

botón axónico: Parte del cuerpo de la célula neural adyacente al segmento inicial.
botón terminal: Estructura presente en donde una neurona establece sinapsis con otra. Llamado también *botón sináptico*.
bóveda craneal (calota): Parte superior del cráneo, que se forma por los huesos frontal, parietal y occipital.
brachium: Brazo.
bradicardia: Frecuencia cardíaca anormalmente lenta.
braquial: Relativo al brazo.
breve: Corto.
broncoscopio: Instrumento de fibra óptica que se emplea para la exploración de las vías bronquiales.
bronquio: Una de las ramas del árbol bronquial entre la tráquea y los bronquíolos.
bronquitis: Inflamación de las vías bronquiales.
bulbar: Relativo al tronco del encéfalo.
bulbo olfativo: Dos nervios olfatorios que se localizan por debajo del lóbulo frontal del cerebro.
bulbo raquídeo: Región más caudal de las cinco que tiene el encéfalo, llamado también **mielencéfalo.**
bursectomía: Extirpación quirúrgica de una bolsa inflamada.
bursitis: Inflamación dolorosa de una o más bolsas.
calacio: Inflamación y distensión de la glándula de Meibomio del párpado.
calcáneo: Hueso del talón, que es el mayor de los huesos del tarso.
calcificación: Depósito de sales de calcio dentro de un tejido.
calcitonina: Hormona secretada por los linfocitos C o tirótropas del tiroides cuando la calcemia está anormalmente aumentada; recupera la homeostasia al aumentar la velocidad de depósito óseo y la pérdida renal de calcio e inhibiendo su captación a nivel digestivo.
cálculos: Concreciones de materiales insolubles que se forman dentro de los líquidos corporales, especialmente en la vesícula biliar, los riñones o la vejiga urinaria.
cáliz: División en forma de copa de la pelvis renal.
callo: Engrosamiento localizado de la epidermis por estrés mecánico crónico; área engrosada que se forma en el lugar de rotura de un hueso como parte del proceso de reparación.
calostro: Secreción de las glándulas mamarias en el momento del parto y durante unos pocos días después; contiene más proteínas y menos grasa que la leche secretada posteriormente.
campo receptor: Área controlada por un solo receptor sensitivo.
canal central: Canal longitudinal en el centro de una osteona que aloja los nervios y los vasos sanguíneos; se llama también canal de Havers; vía a lo largo del eje longitudinal de la médula espinal que contiene líquido cefalorraquídeo.
canal perforante: Vía dentro del hueso compacto que se orienta en ángulo recto con el eje de las osteonas, entre el periostio y el endostio.
canalículo: Vías microscópicas entre las células; los canalículos biliares transportan la bilis a los conductos biliares hepáticos; en el hueso los canalículos permiten la difusión de los nutrientes y productos de desecho hacia los osteocitos y desde ellos.
cáncer: Tumor maligno que suele ocasionar metástasis.
cáncer maligno: Forma de cáncer caracterizada por crecimiento celular rápido y diseminación de las células neoplásicas por todo el organismo.
caninos (cúspides): Dientes superiores cónicos con márgenes afilados, localizados en el maxilar superior a los dos lados y posteriores al segundo incisivo.
canto, medial y lateral: Ángulos formados a ambos lados de los ojos entre los párpados superior e inferior.
cánula: Tubo que se puede introducir al organismo; a menudo se introduce en los vasos antes de la transfusión o diálisis.
capa osteogénica: Capa celular interna del periostio que participa en el crecimiento y reparación del hueso.
capa subcutánea: Capa de tejido conjuntivo laxo por debajo de la dermis; llamada también **hipodermis** o **fascia superficial.**
capacidad vital: Máxima cantidad de aire que se puede introducir o extraer el aparato respiratorio; suma de la reserva inspiratoria, la reserva espiratoria y el volumen corriente.
capacitación: Proceso de activación que debe producirse antes de que el espermatozoide pueda fecundar con éxito al óvulo; se produce en la vagina tras la eyaculación.
capilares: Pequeños vasos sanguíneos, interpuestos entre las arteriolas y las vénulas, cuya pared delgada permite la difusión de gases, nutrientes y desechos entre el plasma y los líquidos intersticiales.
capilares peritubulares: Red de capilares que rodean a los túbulos contorneados proximal y distal de los riñones.
capítulo: Término general para una pequeña apófisis articular elevada; se emplea para aludir a la superficie distal redondeada del húmero que se articula con la cabeza del radio.
cápsula articular: Banda de tejido colágeno denso que rodea a la articulación y la protege y estabiliza.
cápsula glomerular: Porción inicial expandida de la nefrona que rodea al glomérulo.
cápsula interna: Término que se atribuye al aspecto de la sustancia blanca de los hemisferios cerebrales cuando se diseca macroscópicamente el encéfalo.
capuchón acrosómico: Saco membranoso en la punta del espermatozoide que contiene ácido hialurónico.
caput: Cabeza.
características sexuales secundarias: Características físicas que aparecen durante la pubertad en respuesta a las hormonas sexuales, pero que no participan en la producción de los gametos.
carbohidrasa: Enzima que degrada las moléculas de carbohidratos.
carbohidratos: Compuesto orgánico que contiene carbono, hidrógeno y oxígeno en una relación próxima a 1:2:1.
carboxipeptidasa: Proteasa que degrada las proteínas y libera aminoácidos.
carcinógeno: Estimulante de la formación de un cáncer en los tejidos afectados.
cardíaco: Relativo al corazón.
cardias: Región del estómago que rodea su conexión con el esófago.
cardio-: Relativo al corazón.
cardiocito: Célula muscular cardíaca.
cardiovascular: Relativo al corazón, la sangre y los vasos sanguíneos.
carina: Cresta en la superficie interna de la base de la tráquea que se dirige en sentido anteroposterior entre los dos bronquios principales.
cariotipado: Determinación de las características cromosómicas de un individuo o célula.
caroteno: Pigmento amarillento-anaranjado que se encuentra en las zanahorias y en las verduras de hoja verde o naranja; un compuesto que el organismo puede convertir en vitamina A.
carpo: Muñeca.
cartílago: Tejido conjuntivo que tiene una matriz gelatinosa y abundantes fibras.
cartílago aritenoides: Pareja de cartílagos pequeños en la laringe.
cartílago articular: Almohadilla de cartílago que cubre la superficie de un hueso dentro de una cavidad articular.
cartílago cricoides: Cartílago anular que forma el margen inferior de la laringe.
cartílago epifisario: Región cartilaginosa entre la epífisis y la diáfisis de un hueso en crecimiento.
cartílago fibroso: Cartílago que contiene abundantes fibras de colágeno; se encuentra alrededor de los márgenes de las articulaciones, en los discos intervertebrales, los meniscos de las rodillas, etc. Se denomina también *fibrocartílago*.
cartílago hialino: Tipo más frecuente de cartílago; la matriz contiene fibras de colágeno. Ejemplos de este tipo son las conexiones entre las costillas y el esternón, los cartílagos bronquiales y traqueales y los cartílagos sinoviales.
cartílagos corniculados: Pareja de cartílagos laríngeos pequeños.
cartílagos cuneiformes: Par de pequeños cartílagos de la laringe.
castración: Extirpación de los testículos, que se llama también orquiectomía bilateral.
catabolismo: Degradación de las moléculas orgánicas complejas en componentes más sencillos, asociada a la liberación de energía.
catarata: Reducción de la transparencia del cristalino que determina alteraciones visuales.
catecolaminas: Adrenalina, noradrenalina y compuestos relacionados.
catéter: Instrumento quirúrgico; tubo que se introduce en una cavidad corporal o en un vaso o vía excretora para recoger líquidos corporales, monitorizar la presión arterial o introducir fármacos o contrastes radiológicos.
caudal (caudalmente): Cercano o dirigido hacia la cola (cóccix).
cavidad abdominopélvica: Parte de la cavidad ventral del cuerpo que contiene las subdivisiones abdominal y pélvica.
cavidad glenoidea: Depresión redondeada que forma la superficie articular de la escápula en la articulación del hombro.
cavidad medular: Espacio dentro de un hueso que aloja la médula.
cavidad nasal: Cámara situada dentro del cráneo, limitada por las narinas internas y externas.
cavidad pélvica: Subdivisión inferior de la cavidad abdominopélvica (peritoneal); incluye la vejiga urinaria, el colon sigmoide y el recto y los órganos reproductores masculinos y femeninos.
cavidad pericárdica: Espacio localizado entre el pericardio parietal y el epicardio (pericardio visceral) que cubre la superficie externa del corazón.
cavidad peritoneal: *Véase* **cavidad abdominopélvica.**
cavidad pulpar: Cámara interna de un diente, que contiene vasos sanguíneos, linfáticos, nervios y las células responsables del mantenimiento de la dentina.
cavidad sinovial: Cámara rellena de líquido en una articulación de tipo diartrosis.
cavidades pleurales: Subdivisiones de la cavidad torácica que albergan los pulmones.
cefálico: Relativo a la cabeza.
celoma: Cavidad ventral del cuerpo, revestida por una membrana serosa y subdividida durante el desarrollo en cavidades pleural, pericárdica y abdominopélvica (peritoneal).
célula: Unidad viva de menor tamaño del cuerpo humano.
célula caliciforme: Glándula unicelular en forma de cáliz productora de moco que existe en algunos epitelios del tubo digestivo.
célula delta: Célula de los islotes pancreáticos que secreta somatostatina.
célula mucosa: Glándula unicelular productora de moco que se encuentra en algunos epitelios del aparato respiratorio.
célula nodriza: Células ancladas a la lámina basal de la cápsula del túbulo seminífero. Durante la espermiogenia, las espermátidas en desarrollo están incluidas dentro del citoplasma de estas células. Llamadas también *células de Sertoli*.
célula parietal: Célula de las glándulas gástricas responsable de la secreción de HCl y factor intrínseco.
célula plasmática: Linfocitos B activados que secretan anticuerpos; llamados también *plasmocitos*.
célula de Purkinje: Gran neurona ramificada de la corteza cerebelosa.
célula serosa: Célula que produce una secreción acuosa con una elevada concentración de enzimas.

células alfa: Células de los islotes pancreáticos responsables de la secreción de glucagón.
células amacrinas: Neuronas modificadas en la retina que facilitan o inhiben la comunicación entre las células bipolares y ganglionares.
células beta: Células de los islotes pancreáticos que secretan insulina en respuesta a un aumento de la glucemia.
células enteroendocrinas: Células endocrinas dispersas entre las células epiteliales que revisten el tubo digestivo.
células gliales: Células de soporte en el tejido nervioso del SNC y SNP.
células hijas: Células idénticas genéticamente, producidas mediante mitosis.
células de Kupffer: Células estrelladas del hígado; células fagocíticas de los sinusoides hepáticos.
células de Langerhans: Células del epitelio de la piel y el tubo digestivo, que participan en la respuesta inmunitaria al presentar los antígenos a los linfocitos T.
células madre pluripotenciales: Células madre que dan origen a todas las células de la sangre. Llamadas también *hemocitoblastos*.
células marcapasos: Células del nódulo SA que marcan el ritmo de la contracción cardíaca.
células osteoprogenitoras: Células madre que dan origen a los osteblastos.
células pilosas: Células sensitivas del oído interno.
células de Schwann: Células gliales responsables del neurilema que rodea los axones en el SNP.
células sustentaculares: Células de soporte de los túbulos seminíferos del testículo, responsables de la diferenciación de las espermátidas, del mantenimiento de la barrera hematotesticular y de la secreción de la inhibina.
células T asesinas: Linfocitos responsables de la vigilancia inmunitaria, la detección y destrucción de las células tumorales. *Véase* **linfocitos T citotóxicos.**
células yuxtaglomerulares: Células musculares lisas modificadas en las paredes de las arteriolas aferentes y eferentes adyacentes al glomérulo y la mácula densa.
celulitis: Inflamación difusa, que en general afecta a zonas de tejido conjuntivo laxo, como el tejido subcutáneo.
cemento: Material óseo que cubre la raíz de un diente, no protegido por una capa de esmalte.
cemento intercelular: Proteoglucanos, que contienen el polisacárido ácido hialurónico, presente entre las células epiteliales adyacentes.
centríolo: Orgánulo intracelular cilíndrico compuesto por nueve grupos de microtúbulos, tres en cada grupo; funciona en la mitosis o la meiosis al formar la base del huso mitótico.
centro: Cuerpo vertebral.
centro activador reticular: Porción mesencefálica de la formación reticular responsable del despertar y del mantenimiento de la conciencia.
centro apnéusico: Centro respiratorio cuya activación crónica determinaría una apnea en inspiración completa.
centro de Broca: Centro del lenguaje del cerebro, en general, presente en la corteza neural del hemisferio cerebral izquierdo.
centro neumotáxico: Centro de la formación reticular de la protuberancia que regula las actividades de los centros apneúsico y de ritmicidad respiratoria para ajustar la frecuencia respiratoria.
centro de osificación: Lugar del tejido conjuntivo en el cual se inicia la formación del hueso.
centro de la ritmicidad: Centro bulbar responsable de la frecuencia respiratoria básica; incluye centros inspiratorios y espiratorios.
centro de la ritmicidad bulbar: Centro localizado en el bulbo raquídeo que marca el ritmo respiratorio basal; incluye centros inspiratorios y espiratorios.
centro vasomotor: Centro bulbar cuya estimulación induce vasoconstricción con aumento de las resistencias periféricas.
centrómero: Región localizada en la que dos cromátidas siguen conectadas tras la replicación del cromosoma; lugar de anclaje del huso mitótico.
centros cardiovasculares: Centros pobremente localizados de la formación reticular del bulbo raquídeo cerebral; incluyen centros cardioaceleradores, cardioinhibidores y vasomotores.
centros germinales: Regiones pálidas en el interior de los tejidos o ganglios linfáticos, en los cuales se encuentran mitosis.
centrosoma: Región del citoplasma que contiene un par de centríolos orientados en ángulo recto entre ellos.
cerebelo: Porción posterior del metencéfalo, que contiene los hemisferios cerebelosos; incluye el árbol de la vida, los núcleos cerebelosos y la corteza cerebelosa.
cerebro: Porción más extensa del encéfalo, constituida por los hemisferios cerebrales; incluye la corteza cerebral, los núcleos basales y la cápsula interna.
cerumen: Secreción cérea de las glándulas tegumentarias localizadas a lo largo del meato acústico externo.
cérvix: Parte inferior del útero.
cesárea: Nacimiento quirúrgico de un niño mediante la realización de una incisión a través de la pared abdominal inferior y el útero.
chancro: Lesión cutánea que aparece en el lugar de la infección primaria por sífilis.
cianosis: Coloración azulada de la piel por presencia de sangre desoxigenada en los vasos próximos a la superficie corporal.
ciática: Dolor secundario a la compresión de las raíces del nervio ciático.
ciclo cardíaco: Latido cardíaco completo, que incluye sístole y diástole auricular y ventricular.
ciclo de Cori: Intercambio metabólico del ácido láctico del músculo estriado por glucosa en el hígado; tiene lugar durante la recuperación tras un esfuerzo muscular agotador.
ciclo menstrual: *Véase* **ciclo uterino.**
ciclo ovárico: Ciclo mensual de desarrollo de los gametos en el ovario, asociado a cambios cíclicos en la producción de las hormonas sexuales (estrógenos y progestágenos).
ciclo uterino (menstrual): Cambios cíclicos en el revestimiento uterino que sucede en las mujeres en edad fértil. Cada ciclo uterino, que se produce en respuesta a las hormonas circulantes (v. **ciclo ovárico**), dura 21-35 días.
ciego: Bolsa expandida que se encuentra al principio del intestino grueso.
cifosis: Exageración de la curvatura torácica.
cigoto: Óvulo fecundado antes de empezar la división.
cilios: Orgánulo delgado, que se extiende por encima de la superficie libre de la células epitelial y suele experimentar ciclos de movimiento; está constituida por un cuerpo basal y microtúbulos en una disposición 9×2.
circuito pulmonar: Vasos sanguíneos entre las válvulas semilunares del ventrículo derecho y la entrada a la aurícula izquierda; circulación sanguínea a través de los pulmones.
circuito sistémico: Vasos situados entre la válvula semilunar aórtica y la entrada a la aurícula derecha; sistema circulatorio constituido por los vasos que no forman parte del sistema pulmonar.
circulación enterohepática: Excreción de sales biliares por el hígado, seguida de su absorción por las células intestinales para devolverlas al hígado a través de la vena porta hepática.
circunducción: Movimiento de la articulación sinovial en el cual el extremo distal del hueso realiza un círculo, pero el cuerpo del hueso no rota.
circunvolución: Pliegue o cresta prominente de la corteza neural en las superficies de los hemisferios cerebrales.
circunvolución poscentral: Corteza sensitiva primaria, a la que llegan las sensaciones de tacto, vibración, dolor, temperatura y gusto y se perciben de forma consciente.
circunvolución precentral: Corteza motora primaria de un hemisferio cerebral, localizada rostral al surco central.
cirrosis: Trastorno hepático caracterizado por la degeneración de los hepatocitos y su sustitución por tejido conjuntivo.
cisterna: Cámara expandida.
cistitis: Inflamación de la vejiga urinaria.
citocinesis: Desplazamiento del citoplasma que separa las dos células hijas al final de la mitosis.
citoesqueleto: Red de microtúbulos y microfilamentos en el citoplasma.
citología: Estudio de las células.
citoplasma: Material entre la membrana celular y la membrana nuclear.
citosol: Parte líquida del citoplasma.
clavícula: Hueso del cuello.
climaterio: Interrupción relacionada con la edad de la gametogenia en la mujer o el varón por una menor producción de hormonas sexuales.
clítoris: Pequeño órgano eréctil de la mujer que equivale desde el punto de vista del desarrollo al pene masculino.
clonación: Producción de células genéticamente idénticas.
clono: Ciclos rápidos de contracción y relajación muscular.
coágulo: Red de fibras de fibrina y células sanguíneas atrapadas; llamado también trombo.
coágulo de sangre: Trama de fibras de fibrina y células sanguíneas atrapadas.
cóccix: Porción terminal de la columna vertebral, constituida por vértebras relativamente pequeñas fusionadas.
cóclea: Porción espiral del laberinto óseo del oído interno que rodea al órgano de la audición.
codón: Secuencia de tres bases nitrogenadas en la hebra de ARNm y que especifica la localización de un aminoácido determinado en una cadena peptídica.
coenzimas: Cofactores orgánicos complejos, que en general se relacionan de forma estructural con las vitaminas.
cofactores: Iones o moléculas que deben estar unidas a su sitio activo antes de que una enzima pueda funcionar, por ejemplos, los iones, minerales y diversas vitaminas.
cola de caballo: Raíces de los nervios raquídeos distales a la punta de la médula espinal del adulto; se extienden en sentido caudal dentro del conducto raquídeo en su trayecto hacia los segmentos lumbares y sacros.
colágeno: Fibra de las proteínas fuerte e insoluble común en los tejidos conjuntivos.
colecistitis: Inflamación de la vesícula biliar.
colecistocinina: Hormona duodenal que estimula la contracción de la vesícula y la secreción de enzimas en el páncreas exocrino; también llamada *pancreocimina*.
colectomía: Resección quirúrgica de una parte o de todo el colon.
colelitiasis: Formación o presencia de cálculos biliares.
colesterol: Componente esteroideo de las membranas celulares y sustrato para la síntesis de hormonas esteroideas y sales biliares.
colículo: Pequeña elevación; en el encéfalo se utiliza para describir uno de los engrosamientos corticales en el techo del mesencéfalo; el colículo superior se asocia al sistema visual y el colículo inferior al auditivo.
colina: Compuesto químico; producto de degradación o precursor de la acetilcolina.
colinesterasa: Enzima que degrada e inactiva la ACh.
colitis: Inflamación del colon.
colon: Intestino grueso.
colon sigmoide: Porción de 22 cm del colon, con forma de S, situada entre el colon descendente y el recto.
colonoscopio: Dispositivo de fibra óptica para explorar el interior del colon.
colostomía: Conexión quirúrgica de una parte del colon con la pared corporal, en ocasiones realizada tras la colectomía para permitir la evacuación del material fecal.
columna vertebral: Las vértebras cervicales, torácicas y abdominales y el sacro y el cóccix.
columnas rectales: Pliegues longitudinales en las paredes del canal anorrectal.
coma: Situación de falta de conciencia en la que el individuo no puede ser despertado, ni siquiera con estímulos fuertes.

comedón: Glándula sebácea inflamada.
comisura: Entrecruzamiento de un lado al otro.
complejo relacionado con el SIDA (CRS): Síntomas precoces de la infección por VIH, que corresponden principalmente a adenopatías, fiebre e infecciones crónicas no mortales.
complejo yuxtaglomerular o aparato yuxtaglomerular: La mácula densa, el mesangio y las células yuxtaglomerulares; complejo responsable de la liberación de renina y eritropoyetina.
complemento: 11 proteínas plasmáticas que interactúan en una reacción en cadena tras la exposición a anticuerpos activados en la superficie de determinados patógenos y que inducen la lisis celular, la fagocitosis y otros mecanismos de defensa.
compuesto: Molécula que contiene dos o más elementos combinados.
compuesto orgánico: Compuesto que contiene carbono, hidrógeno y, en general, oxígeno.
concentración: Cantidad (en gramos) o número de átomos, iones o moléculas (en moles) por unidad de volumen.
concepción: Fecundación.
cóndilo: Proyección articular redondeada en la superficie de un hueso.
condrocito: Célula cartilaginosa.
condroitina sulfato: Proteoglucano que predomina en el cartílago y explica la consistencia gelatinosa de la matriz.
conducción saltatoria: Conducción relativamente rápida de un impulso nervioso entre los nódulos sucesivos de un axón mielínico.
conducto: Vía que excreta las secreciones exocrinas a una superficie epitelial.
conducto anal: Porción distal del recto que contiene las columnas anales y termina en el ano.
conducto arterioso: Conexión vascular entre el tronco de la pulmonar y la aorta que funciona durante la vida fetal; normalmente se cierra al nacer o poco después y persiste en forma de ligamento arterioso.
conducto cístico: Conducto que transporta la bilis entre la vesícula biliar y el colédoco.
conducto coclear: Tubo membranoso que se encuentra dentro de la cóclea y está lleno de endolinfa y aloja el órgano de Corti; se llama también **rampa media**.
conducto colédoco: Conducto formado por la unión del conducto cístico de la vesícula y los conductos biliares del hígado; desemboca en la ampolla duodenal donde se une al conducto pancreático.
conducto deferente: Vía que transporta el espermatozoide desde el epidídimo al conducto eyaculador.
conducto eyaculador: Conducto corto que atraviesa las paredes de la próstata y conectan el conducto deferente con la uretra prostática.
conducto galactóforo: Conducto que drena un lobulillo de la mama.
conducto hepático: Conducto que aleja la bilis de los lobulillos hepáticos y la acerca a la unión con el conducto cístico.
conducto inguinal: Vía de la pared abdominal que marca el trayecto del descenso testicular; contiene las arterias y venas testiculares y el conducto deferente.
conducto linfático derecho: Vaso linfático que recibe la linfa del lado derecho de la cabeza, cuello y tórax, y la vierte en el sistema venoso a través de la vena subclavia derecha.
conducto nasolagrimal: Vía que transporta las lágrimas del saco nasolagrimal a la cavidad nasal.
conducto pancreático: Conducto tubular que transporta el jugo pancreático desde el páncreas al duodeno.
conducto raquídeo: Vía que rodea a la médula espinal, túnel delimitado por los arcos neurales de las vértebras adyacentes.
conductos semicirculares: Componentes tubulares del aparato vestibular responsables del equilibrio dinámico.
congénito: Presente al nacimiento.
conjuntiva: Capa de epitelio estratificado escamoso que cubre las superficies internas de los párpados y la superficie anterior del ojo hasta el límite con la córnea.
conjuntivitis: Inflamación de la conjuntiva.
conminuta: Roto o estallado en múltiples trozos pequeños.
conmoción: Golpe o shock violento; pérdida de conciencia secundaria a un golpe violento en la cabeza.
cono: Fotorreceptor de la retina responsable de la visión del color.
cono medular: Punta cónica de la médula espinal de la que surge el filum terminal.
contracción isométrica: Contracción muscular caracterizada por un incremento de la producción de tensión, sin cambios en la longitud.
contracción isotónica: Contracción muscular durante la cual la tensión aumenta para luego permanecer estable al acortarse el músculo.
contracción tetánica: Contracción muscular estriada mantenida por una estimulación repetida a una frecuencia que impide la relajación del músculo.
contractilidad: Capacidad de contracción de las células musculares cardíacas, estriadas y lisas.
contractura: Contracción permanente de un músculo entero tras la atrofia de las células musculares individuales.
convergencia: En el sistema nervioso la inervación de una sola neurona por los axones procedentes de varias; es más frecuente en las vías motoras.
cordón umbilical: Tallo de conexión entre el feto y la placenta; contiene la alantoides, las arterias umbilicales y la vena umbilical.
cordones espermáticos: Vasos espermáticos, nervios, linfáticos y el conducto deferente, que van desde el testículo al extremo proximal del canal inguinal.
corion (coriónico): Membrana extraembrionaria, que consiste en trofoblasto y el mesodermo subyacente, que forma la placenta.
córnea: Porción transparente de la túnica fibrosa de la superficie anterior del ojo.
cornetes: Tres pares de huesos delgados, que se proyectan hacia el interior de la cavidad nasal; los cornetes superior y medio forman parte del etmoides y el inferior es un hueso distinto.
cornificación: Producción de queratina por un epitelio escamoso estratificado; llamado también **queratinización.**
coroides: Capa intermedia vascular de la pared ocular.
corona radiada: Capa de células foliculares que rodea al ovocito en el momento de la ovulación.
coronoides: Curvado o angulado.
corporal: Relativo al cuerpo.
corpúsculo laminar: Receptor sensible a la vibración; también se denomina *corpúsculo de Pacini*.
corpúsculo renal: Porción inicial de una nefrona, que corresponde a una cámara expandida que rodea al glomérulo.
corpúsculos de Ruffini: Receptores sensibles a la tensión y distensión de la dermis de la piel.
corpúsculos táctiles: Receptores para el tacto localizados dentro de las papilas dérmicas adyacentes a la membrana basal de la epidermis; llamados también *corpúsculos de Meissner*.
corpúsculos tímicos: Agregados de células epiteliales del timo, cuya función se desconoce. Llamados también *corpúsculos de Hassall*.
corteza: Capa externa o porción de un órgano.
corteza cerebral: Zona extensa de la corteza nerviosa que cubre las superficies de los hemisferios cerebrales.
corteza neural: Zona en la cual la sustancia gris se localiza en la superficie del SNC.
corteza prefrontal: Porción rostral de cada hemisferio cerebral que se considera implicada en las funciones intelectuales superiores, las predicciones, la capacidad de cálculo, etc.
corteza premotora: Área de asociación motora entre la circunvolución precentral y el área prefrontal.
corteza suprarrenal: Porción superficial de la glándula suprarrenal que produce hormonas esteroideas.
Corti, órgano: Órgano espiral; complejo receptor en la rampa media de la cóclea que incluye las células pilosas internas y externas, las células y estructuras de soporte y la membrana tectorial; genera la sensación auditiva.
corticoesteroide: Hormona esteroidea elaborada por la corteza suprarrenal.
corticosterona: Uno de los corticoesteroides secretados por la zona fascicular de la corteza suprarrenal; glucocorticoesteroide.
corticotropina: *Véase* **hormona adrenocorticótropa (ACTH).**
cortisol: Uno de los corticoesteroides secretados por la zona fascicular de la corteza suprarrenal; glucocorticoesteroide.
costal: Relativo a la costilla.
costillas vertebroecondrales: Costillas 8-10, costillas falsas que se conectan con el esternón a través de una barras comunes de cartílago.
costillas vertebrosternales: Costillas 1-7, verdaderas costillas que se conectan con el esternón a través de una bandas de cartílago individuales.
cotransporte: Transporte en la membrana de un nutriente, con la glucosa, que se asocia al desplazamiento de un ión, en general el sodio; el transporte necesita una proteína transportadora, pero no determina consumo directo de ATP y se produce independientemente del gradiente de concentración del nutriente.
craneal: Relativo a la cabeza.
cráneo: Cubierta ósea del encéfalo, huesos del cráneo que rodean al encéfalo.
craneoestenosis: Deformidad craneal provocada por el cierre prematuro de las suturas craneales.
creatina: Compuesto nitrogenado elaborado en el organismo y que se puede unir a un fosfato de alta energía y comportarse como reserva energética.
creatina fosfato: Compuesto rico en energía existente en las células musculares; durante la actividad muscular el grupo fosfato se dona al ADP para regenerar el ATP.
creatinina: Producto de degradación del metabolismo de la creatina.
crecimiento por aposición: Aumento de tamaño por la adición de cartílago o matriz ósea en la superficie externa.
crecimiento intersticial: Forma de crecimiento del cartílago mediante crecimiento, mitosis y secreción de condrocitos dentro de la matriz.
crenación: Retracción de las células por la salida de líquido de su citoplasma de mecanismo osmótico.
cresta: Colección en forma de anillo de células pilosas en la ampolla de un conducto semicircular; la cresta y la cúpula forman un complejo receptor sensible al movimiento a lo largo del plano del conducto.
cripta intestinal: Bolsillo epitelial tubular revestido por células secretoras y que desemboca en la luz del tubo digestivo; llamada también glándula intestinal.
criptorquidia: Fallo en el descenso de los testículos hacia el conducto inguinal al final del desarrollo fetal.
cristalino: Cuerpo transparente localizado por detrás del iris y la pupila delante del humor acuoso.
cromátida: Copia completa de una hebra del ADN.
cromatina: Término histológico que alude al material granulado visible en el núcleo de las células durante la interfase; aspecto del ADN en el núcleo cuando los cromosomas se estiran.
cromosoma Y: Cromosoma sexual cuya presencia indica que un individuo corresponde genéticamente a un varón.
cromosomas: Estructuras densas, constituidas por hebras de ADN muy condensadas y las histonas asociadas, que se hacen visibles en el núcleo cuando una célula se prepara para la mitosis o la meiosis; las células somáticas humanas normales contienen 46 cromosomas cada una.
cromosomas homólogos: Miembros de una pareja de cromosomas, cada uno con los mismos *locus* genéticos.
crónico: Habitual o a largo plazo.
cuadriplejía: Parálisis de los miembros superiores e inferiores.

cuarto ventrículo: Ventrículo elongado en el metencéfalo (protuberancia y cerebelo) y el mielencéfalo (bulbo raquídeo) cerebral; su techo contiene una región del plexo coroideo.
cuerdas tendinosas: Cordones fibrosos que abrazan las válvulas AV cardíacas, estabilizándolas en su sitio y previniendo su reflujo durante la sístole ventricular.
cuerdas vocales: Pliegues en la pared laríngea que contienen ligamentos elásticos, cuya tensión se puede ajustar de forma voluntaria. Cuerdas vocales verdaderas responsables de la fonación.
cuerpo albicans: Tejido cicatrizal que persiste tras la degeneración del cuerpo lúteo al final del ciclo uterino.
cuerpo calloso: Haz de axones que relacionan los centros de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo.
cuerpo carotídeo: Grupo de receptores adyacentes al seno carotídeo, sensibles a los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono, el pH y las concentraciones de oxígeno de la sangre arterial.
cuerpo cavernoso: Masas de tejido eréctil dentro del cuerpo del pene (varón) o del clítoris (mujer).
cuerpo ciliar: Región engrosada de la coroides, que rodea al cristalino del ojo; incluye el músculo ciliar y las prolongaciones ciliares, que dan soporte a los ligamentos suspensorios del cristalino.
cuerpo esponjoso: Masa de tejido eréctil que rodea a la uretra del pene y se expande en la parte distal para crear el glande.
cuerpo lúteo: Masa secretora de progesterona de células foliculares que se desarrolla en el ovario tras la ovulación.
cuerpo polar: Agregado no funcional de citoplasma que contiene los cromosomas eliminados de un ovocito durante la meiosis.
cuerpos cetónicos: Cetoácidos producidos durante el catabolismo de los lípidos y aminoácidos cetogénicos; en concreto corresponden a acetona, acetoacetato y beta-hidroxibutirato.
cuerpos cuadrigéminos: Colículos superior e inferior del techo del mesencéfalo del encéfalo.
cuerpos mamilares: Núcleos del hipotálamo que se encargan de los reflejos y conductas alimentarias; componente del sistema límbico.
cúpula: Masa gelatinosa que se asiente sobre la ampolla de un conducto semicircular en el oído interno y cuyo movimiento estimula a las células pilosas de la cresta.
curvaturas de compensación: Curvaturas cervical y lumbar que centran el peso corporal sobre las piernas.
cutícula: Capa de células cornificadas muertas que rodean a la vaina de un cabello; en las uñas, *véase* **eponiquio**.
cutis: Piel.
decusar: Cruzarse hacia el lado opuesto, término que en general alude al cruzamiento de las vías piramidales en la superficie ventral del bulbo raquídeo.
defecación: Eliminación de desechos fecales.
degeneración walleriana: Desintegración del axón y su vaina de mielina distalmente a un foco de lesión.
deglución: Acto de tragar.
demencia: Pérdida de las capacidades mentales.
dendrita: Prolongación sensitiva de una neurona.
dentina: Material similar al hueso que forma el cuerpo de un diente; se distingue del hueso en que no contiene osteonas ni osteocitos.
depresión: Movimiento inferior (hacia abajo) de una parte del cuerpo.
dermatitis: Inflamación de la piel.
dermatoma: Región sensitiva monitorizada por el ramo dorsal de un segmento vertebral único.
dermis: Capa de tejido conjuntivo situada debajo de la epidermis de la piel.
desarrollo: Crecimiento y adquisición de una complejidad estructural y funcional cada vez mayor; incluye el período que va desde la concepción a la madurez.
descerebrado: Exento de un cerebro.
desechos nitrogenados: Productos de desecho orgánico del metabolismo que contienen nitrógeno, como la urea, el ácido úrico y la creatinina.
desmielinización: Pérdida de la vaina de mielina de un axón, debida en general a las lesiones físicas o químicas de las células de Schwann o de los oligodendrocitos.
desmosomas: Unión celular constituida por una delgada capa de proteoglucanos reforzada por una red de filamentos intermedios que anclan las dos células entre ellas.
desplazamiento del cloruro: Entrada de los iones cloruro plasmáticos en los eritrocitos en intercambio con iones bicarbonato generados por la disociación intracelular del ácido carbónico.
despolarización: Cambio en el potencial transmembrana que lo aleja de su valor negativo y lo acerca a 0 milivoltios (mV).
detumescencia: Pérdida de la erección del pene en el varón.
diabetes insípida: Poliuria por producción inadecuada de ADH.
diabetes mellitus: Poliuria y glucosuria que se suelen deber a una producción inadecuada de insulina con la consiguiente elevación de la glucemia.
diáfisis: Tallo de un hueso largo.
diafragma: Cualquier tabique muscular; se utiliza con frecuencia para referirse al músculo respiratorio que separa la cavidad torácica de la abdominopélvica.
diálisis: Difusión entre dos soluciones con distintas concentraciones de soluto a través de una membrana semipermeable que contiene poros para permitir el paso de unos solutos, pero no de otros.
diapedesis: Movimiento de los leucocitos a través de las paredes de los vasos mediante la migración entre las células endoteliales adyacentes.
diarrea: Defecación con una frecuencia anormalmente alta y que se asocia a la producción de heces demasiado líquidas.
diartrosis: Articulación sinovial.
diástole: Período de relajación; puede aludir a los ventrículos o las aurículas.
diencéfalo: División del encéfalo que incluye el epitálamo, el tálamo y el hipotálamo.
diferenciación: Aparición gradual de especializaciones celulares características durante el desarrollo, como consecuencia de la activación o represión de genes.
difusión: Desplazamiento molecular pasivo desde una zona de concentración relativamente alta a otra de concentración relativamente baja.
difusión facilitada: Desplazamiento pasivo de una sustancia a través de la membrana celular gracias a una proteína transportadora.
digestión: Degradación química de los materiales ingeridos a moléculas sencillas que pueden ser absorbidas por las células del tubo digestivo.
dilatar: Aumentar de diámetro; amplificar o expandir.
dióxido de carbono: CO_2; compuesto producido por las reacciones de descarboxilación de la glucólisis aerobia.
díploe: Capa de hueso esponjoso localizada entre las tablas externa e interna de un hueso plano.
disco intervertebral: Almohadilla de cartílago fibroso entre los centros de vértebras sucesivas que sirve para absorber los impactos.
discos intercalados: Regiones en las que los cardiocitos adyacentes se entrecruzan y en las que las uniones en hendidura permiten el acoplamiento eléctrico entre las células.
discos táctiles: Terminaciones nerviosas que contactan con receptores especiales llamadas células de Merkel, localizadas en la capa más profunda de la epidermis; llamados también *discos de Merkel*.
dislexia: Alteración de la capacidad de comprender las palabras escritas.
dismenorrea: Menstruación dolorosa.
disolvente: Componente líquido de una solución.
distal: Desplazamiento que tiende a alejarse del punto de inserción u origen; para el miembro, alude a lugares alejados de su inserción en el tronco.
distensibilidad: Capacidad de determinados órganos de tolerar cambios de su volumen; propiedad que refleja la existencia de fibras elásticas y músculo liso.
disuria: Dolor durante la micción.
diuresis: Pérdida de líquido en los riñones; producción de orina.
divergencia: En el tejido neural, diseminación de la excitación desde una neurona a muchas neuronas; patrón de organización frecuente en las vías sensitivas del SNC.
diverticulitis: Inflamación de un divertículo.
divertículo: Saco o protrusión en la pared del colon u otro órgano.
diverticulosis: Formación de divertículos.
divieso: Absceso de la piel, que suele afectar a una glándula sebácea.
división craneosacra: *Véase* **división parasimpática.**
división ecuatorial: Segunda división meiótica.
división parasimpática: Una de las dos divisiones del sistema nervioso autónomo; se llama también división craneosacra; en general, es responsable de las actividades orientadas a conservar la energía y reducir el metabolismo.
división reductora: Primera división meiótica, que reduce el número de cromosomas de 46 a 23.
división simpática: División del sistema nervioso autónomo responsable de la respuesta de «huida o lucha»; se encarga principalmente de aumentar el metabolismo y la alerta.
división toracolumbar: División simpática del SNA.
dopamina: Neurotransmisor importante en el SNC.
dorsal: Hacia la espalda, posterior.
dorsiflexión: Elevación de la superficie superior del pie.
duodeno: Los 30 cm proximales del intestino delgado que contienen vellosidades cortas y glándulas submucosas.
duramadre: Componente más externo de las meninges que rodea al encéfalo y la médula espinal.
ecocardiografía: Exploración del corazón que utiliza técnicas ecográficas modificadas.
ecografía: Técnica de visualización diagnóstica que emplea ondas sonoras de alta frecuencia.
ectodermo: Una de las tres capas germinales primarias; cubre la superficie del embrión y da lugar al sistema nervioso, la epidermis y las glándulas asociadas y otras muchas estructuras.
ectópico: Fuera de su localización normal.
efector: Glándula periférica o célula muscular inervada por una motoneurona.
eferente: Alejado de una zona central receptora.
elastasa: Enzima pancreática que degrada las fibras de elastina.
elastina: Fibras de tejido conjuntivo que se distienden y rebotan, lo que aporta elasticidad a los tejidos conjuntivos.
electrocardiograma (ECG): Registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón, que se recoge en determinadas localizaciones específicas de la superficie corporal.
electroencefalograma (EEG): Registro gráfico de la actividad eléctrica cerebral.
electrólitos: Compuestos inorgánicos solubles cuyos iones conducen una corriente eléctrica en solución.
electrón: Una de las tres partículas fundamentales; partícula subatómica de carga negativa y que normalmente orbita alrededor de los protones del núcleo.
elefantiasis: Linfedema causado por infección y bloqueo de los linfáticos secundario a parásitos que se transmiten por los parásitos transportados por los mosquitos.
elevación: Movimiento en dirección superior o hacia arriba.
embolia: Obstrucción o cierre de un vaso por un émbolo.
émbolo: Burbuja de aire, glóbulo de grasa o coágulo de sangre que se libera hacia la circulación.
embriogenia: Proceso de formación del embrión.
embriología: Estudio del desarrollo embrionario, que se centra en los 2 meses siguientes a la fecundación.
embrión: Estadio del desarrollo que se inicia en el momento de la fecundación y termina al final del tercer mes del desarrollo.
emesis: Vómitos.

emetropia: Visión normal.
emulsificación: Rotura física de las grasas en el tubo digestivo, para formar gotículas más pequeñas accesibles a las enzimas digestivas; normalmente se produce tras la mezcla con las sales biliares.
encefalinas: Neuromoduladores producidos en el SNC que inhiben la actividad en las vías del dolor.
encefalitis: Inflamación del encéfalo.
encéfalo medio: Mesencéfalo.
endocardio: Epitelio escamoso simple que reviste el corazón y se continua del endotelio de los grandes vasos.
endocarditis: Inflamación del endocardio del corazón.
endocitosis: Movimiento de cantidades de material extracelular relativamente altas hacia el citoplasma por formación de una vesícula membranosa en la superficie celular; incluye la pinocitosis y la fagocitosis.
endodermo: Una de las tres capas germinales primarias; la capa de la superficie inferior del disco embrionario da lugar a los epitelios y glándulas del aparato digestivo, el aparato respiratorio y algunas zonas del aparato urinario.
endógeno: Producido dentro del cuerpo.
endolinfa: Contenido líquido del laberinto membranoso (sáculo, utrículo, conductos semicirculares y conducto coclear) del oído interno.
endometrio: Membrana mucosa que reviste el útero.
endomisio: Red delicada de fibras de tejido conjuntivo que rodea a las células musculares individuales.
endoneuro: Red delicada de fibras de tejido conjuntivo que rodea a fibras nerviosas individuales.
endorfinas: Neuromoduladores elaborados en el SNC que inhiben la actividad en las vías del dolor.
endostio: Cubierta celular incompleta presente en las superficies internas (medulares) del hueso.
endotelio: Epitelio escamoso simple que reviste los vasos sanguíneos y linfáticos.
enfermedad de Addison: Trastorno provocado por la hiposecreción de glucocorticoesteroides y que se caracteriza por obnubilación, debilidad, hipotensión e hiperpigmentación de la piel.
enfermedad de Alzheimer: Trastorno provocado por cambios degenerativos en las poblaciones de neuronas cerebrales, que ocasiona una demencia caracterizada por dificultades de atención, alteraciones de la memoria reciente y de las emociones.
enfermedad de Cushing: Trastorno provocado por la producción excesiva de esteroides suprarrenales.
enfermedad de Parkinson: Trastorno motor progresivo que se debe a la degeneración de los núcleos cerebrales.
engrosamiento cervical: Aumento relativo del tamaño de la parte cervical de la médula espinal por la abundancia de neuronas del SNC implicadas en el control motor de los brazos.
enlaces cruzados: Cabeza de miosina que se proyecta desde la superficie de un filamento grueso y que se puede unir al sitio activo de un filamento fino en presencia de iones calcio.
enteritis: Inflamación del tubo digestivo.
enterocinasa: Enzima de la luz del intestino delgado que activa las proenzimas secretadas por el páncreas.
enterocrinina: Hormona secretada por el revestimiento duodenal cuando se expone al quimo ácido; estimula la secreción de las glándulas duodenales.
enzima: Proteína que cataliza una reacción bioquímica específica.
eosinófilos: Granulocitos (GB) de núcleo lobulado que contienen gránulos que se tiñen de rojo; participan en las respuestas inmunitarias y son especialmente importantes durante las reacciones alérgicas.
epéndima: Capa de células que revisten los ventrículos y el conducto central del SNC.
epiblasto: Capa de la masa celular interna que mira hacia la cavidad amniótica antes de la gastrulación.
epicardio: Membrana serosa que recubre la superficie externa del corazón; se llama también *pericardio visceral*.
epidermis: Epitelio que cubre la superficie de la piel.
epidídimo: Conducto contorneado que conecta la red testicular con el conducto deferente; lugar de la maduración funcional de los espermatozoides.
epífisis: Extremo de un hueso largo.
epiglotis: Colgajo a modo de pala de tejido, reforzado por cartílago, que se une a la superficie dorsal y superior del cartílago tiroides; se pliega sobre la entrada de la laringe durante la deglución.
epimisio: Cubierta densa de fibras de colágeno que rodean al músculo estriado y que se continúa con los tendones/aponeurosis del músculo y el perimisio.
epineuro: Cubierta densa de fibras de colágeno que rodea un nervio periférico.
epiplón mayor: Gran pliegue del mesenterio dorsal del estómago, que cuelga delante de los intestinos.
epiplón menor: Pequeña bolsa de mesenterio que conecta la curvatura menor del estómago con el hígado.
epistaxis: Sangrado nasal.
epitelio: Uno de los cuatro tipos de tejidos fundamentales; capa de células que forma una cubierta superficial o el revestimiento interno de una cavidad corporal o vaso.
epitelio escamoso: Epitelio cuyas células superficiales son planas a modo de láminas.
epitelio seudoestratificado: Epitelio que contiene varias capas de núcleos, pero cuyas células están todas en contacto con la membrana basal subyacente.
epitelio simple: Epitelio que contiene una sola capa de células por encima de la membrana basal.
eponiquio: Estrecha zona del estrato córneo que se extiende por la superficie ungueal en su base expuesta; se llama también **cutícula**.
equilibrio: Estado dinámico en el que dos fuerzas o procesos contrapuestos están compensados.
equilibrio dinámico: Mantenimiento de la orientación normal del cuerpo cuando se producen cambios súbitos de posición (rotación, aceleración, etc.).
erección: Enderezamiento del pene antes de la cópula por la ingurgitación de los tejidos eréctiles de los cuerpos cavernosos y del cuerpo esponjoso.
erector del vello: Músculos lisos cuyas contracciones inducen la piloerección.
eritema: Enrojecimiento e inflamación en la superficie cutánea.
eritrocito (glóbulo rojo): célula sanguínea anucleada que contiene gran cantidad de hemoglobina.
eritrocitosis: Aumento anómalo del número de eritrocitos en la sangre circulante.
eritropoyesis: Formación de eritrocitos.
eritropoyetina: Hormona liberada por los tejidos, sobre todo los riñones, expuestos a una baja concentración de oxígeno; estimula la hematopoyesis medular.
escalera: Aumento escalonado de la producción de tensión tras la estimulación repetida de un músculo, incluso aunque se deje al músculo completar cada fase de relajación.
escama: Hueso plano y amplio.
escamoso: Aplanado.
escápula: Pala del hombro.
Escherichia coli: Bacteria que reside normalmente en el intestino grueso.
esclerosis: Endurecimiento y engrosamiento que con frecuencia son secundarios a la inflamación tisular.
esclerótica: Capa fibrosa externa del ojo, que da lugar a la zona blanca de la superficie anterior; parte de la túnica fibrosa del ojo.
escoliosis: Curvatura lateral de la columna exagerada.
escroto: Bolsa carnosa y laxa que rodea al testículo masculino.
esfínter: Anillo muscular que se contrae para cerrar o abrir el acceso a una vía interna.
esfínter pilórico: Esfínter de músculo liso que regula el paso del quimo desde el estómago al duodeno.
esguince: Distorsión forzada de una articulación, que ocasiona lesiones en la cápsula, ligamentos o tendones, sin llegar a luxarla.
esmalte: Material cristalino parecido en su composición mineral al hueso, pero más duro y carente de osteocitos, que recubre las superficies expuestas de los dientes.
esmegma: Secreción de las glándulas prepuciales del pene o el clítoris.
esófago: Tubo muscular que conecta la faringe con el estómago.
espacio epidural: Espacio entre la duramadre vertebral y las paredes de los agujeros vertebrales; contiene vasos sanguíneos y tejido adiposo; lugar frecuente para la inyección de la anestesia regional.
espacio subaracnoideo: Espacio meníngeo que contiene el LCR; área localizada entre la aracnoides y la piamadre.
espasmo vascular: Contracción de la pared de un vaso en un lugar lesionado, proceso que retrasa la velocidad de pérdida de sangre.
esperma: *Véase* **espermatozoide.**
espermátidas: Producto de la meiosis en el varón; células que se diferencian a espermatozoides.
espermatocito: Células del túbulo seminífero que participan en la meiosis.
espermatogenia: Producción de espermatozoides.
espermatogonias: Células madre cuyas divisiones mitóticas dan lugar a otras células madre y espermatocitos.
espermatozoide: Célula espermática, gameto masculino.
espermicida: Compuesto tóxico para los espermatozoides, que en ocasiones se emplean como método anticonceptivo.
espermiogenia: Proceso de diferenciación de las espermátidas que culmina con la formación de espermatozoides maduros.
espina bífida: Trastorno malformativo en el que las láminas vertebrales no se fusionan en la línea media; en los casos graves, se afecta toda la columna vertebral y el cráneo.
espiración: Exhalación; sacar el aire.
esplenectomía: Resección quirúrgica del bazo.
esputo: Moco viscoso eliminado por la boca tras ser transportado a la laringe por la escalera mucociliar del aparato respiratorio.
estapedio: Músculo del oído medio cuya contracción tensa los huesecillos auditivos y reduce las fuerzas transmitidas a la ventana oval.
estatoconia: Agregaciones de cristales de carbonato cálcico en una membrana gelatinosa, que se sitúan por encima de una de las máculas del aparato vestibular.
estenosis: Constricción o estrechamiento de una vía.
estereocilios: Microvellosidades alargadas características del epitelio del epidídimo y de algunas regiones del conducto deferente.
esteroides: Estructura lipídica en forma anular que guarda relación estructural con el colesterol.
estímulo: Alteración ambiental que produce un cambio en las actividades celulares; con frecuencia se emplea para aludir a acontecimientos que modifican los potenciales transmembrana de las células excitables.
estímulo liminal: Estímulo suficiente para despolarizar el potencial transmembrana de una membrana excitable hasta alcanzar un umbral y producir un potencial de acción.
estradiol: Principal estrógeno secretado por los folículos ováricos.
estratificado: Con varias capas.
estrato: Capa.
estrato córneo: Capas de células queratinizadas muertas aplanadas que cubren la superficie de la epidermis cutánea.
estribo: Huesecillo auditivo unido a la membrana timpánica.
estrógenos: Hormonas sexuales predominantes en las mujeres; destaca el estradiol.
estroma: Trama de tejido conjuntivo de un órgano, en contraste con sus células funcionales (parénquima).
eupnea: Respiración tranquila normal.
eversión: Giro hacia fuera.
excreción: Eliminación por parte del cuerpo.
exocitosis: Eyección de materiales del citoplasma por fusión de una vesícula membranosa con la membrana celular.

extensión: Aumento del ángulo entre dos huesos articulados; contrario a flexión.
exterorreceptor: Receptores sensitivos de la piel, las mucosas y los órganos de los sentidos especiales que aportan información sobre el ambiente externo y la posición que ocupa el individuo en él.
eyaculación: Eyección del semen desde el pene como consecuencia de las contracciones musculares de los músculos bulbocavernoso e isquiocavernoso.
fabela: Hueso sesamoideo que se suele encontrar en el tendón de la cabeza lateral del músculo gastrocnemio.
facilitación: Despolarización de la membrana de una neurona hasta llegar al umbral o aumentar la sensibilidad de la célula frente a los estímulos despolarizantes.
factor intrínseco: Glucoproteína secretada por las células parietales gástricas que facilita la absorción de la vitamina B_{12}.
factor Rh: Aglutinógeno que puede existir (Rh positivo) o no (Rh negativo) en las superficies de los eritrocitos.
factores de la coagulación: Proteínas plasmáticas sintetizadas por el hígado y que resultan esenciales para la respuesta de la coagulación.
fagocito: Célula responsable de la fagocitosis.
fagocitosis: Atrapamiento de los materiales extracelulares o patógenos; desplazamiento de los materiales extracelulares al interior del citoplasma al quedar atrapados en una vesícula membranosa.
falange: Dedos; huesos de los dedos de manos y pies.
faringe: Garganta; una vía muscular compartida por los aparatos respiratorio y digestivo.
farmacología: Estudio de los fármacos, sus efectos fisiológicos y su utilidad clínica.
fascia: Fibras de tejido conjuntivo, principalmente colágeno, que forman sábanas o bandas por debajo de la piel para anclar, estabilizar, rodear y separar los músculos y otros órganos internos.
fascia subserosa: Capa de tejido conjuntivo laxo situada debajo de una serosa que reviste la cavidad corporal ventral.
fascia superficial: *Véase* **capa subcutánea.**
fasciculación: Ciclo único de contracción/relajación en un músculo estriado.
fascículo: Haz pequeño, que suele referirse a una colección de axones nerviosos o fibras musculares.
fase postovulatoria: Fase secretora del ciclo menstrual.
fase preovulatoria: Parte del ciclo menstrual; período de reparación inducida por los estrógenos de la zona funcional del endometrio mediante el crecimiento y la proliferación de las células epiteliales de las glándulas no perdidas durante la menstruación.
fase proliferativa: *Véase* **fase preovulatoria.**
fase de relajación: Período tras una contracción en el cual la tensión de la fibra muscular recupera sus valores de reposo.
fauces: Entrada de la boca a la faringe, rodeada por los arcos palatinos, el paladar blando y la úvula.
fecundación: Fusión de un óvulo y un espermatozoide para dar origen a un cigoto.
fenestración: Perforación.
fenestrado: Con múltiples perforaciones; se emplea para referirse a los capilares muy permeables en los que las células endoteliales están atravesadas por poros de tamaños variables.
fenotipo: Características físicas determinadas de forma genética.
feto: Estadio del desarrollo que va desde el principio del tercer mes del desarrollo hasta el parto.
fibra aferente: Axones que transportan información sensitiva hacia el SNC.
fibra eferente: Axón que aleja los impulsos del SNC.
fibras extrafusales: Fibras musculares contráctiles, que se contraponen a las fibras intrafusales de tipo sensitivo (husos musculares).
fibras intrafusales: Fibras de los husos musculares.
fibras de proyección: Axones que transportan información desde el tálamo a la corteza cerebral.
fibras de Purkinje: Cardiocitos especializados en la conducción ventricular.
fibrilación: Contracciones descoordinadas de las células musculares individuales que alteran o impiden una función normal.
fibrina: Fibras de proteínas insolubles que forman la estructura básica de un coágulo de sangre.
fibrinógeno: Proteínas plasmáticas que se pueden convertir por la acción de enzimas en hebras insolubles de fibrina, que son la base del coágulo de sangre.
fibrinólisis: Degradación de las hebras de fibrina de un coágulo de sangre mediante enzimas proteolíticas.
fibroblastos: Células del tejido conjuntivo verdadero que son responsables de la producción de fibras extracelulares y la secreción de compuestos orgánicos de la matriz extracelular.
fibrocitos: Células del tejido conjuntivo verdadero que son responsables del mantenimiento de las fibras extracelulares y la sustancia fundamental de la matriz extracelular.
filamento fino: Filamento de actina en la célula muscular estriada o cardíaca.
filamento grueso: Filamento de miosina en la célula muscular estriada o cardíaca.
filariasis: Trastorno producido por la infección secundaria a unos parásitos transmitidos por los mosquitos; puede causar elefantiasis.
filtración: Desplazamiento del líquido a través de una membrana cuyos poros limitan el paso de solutos en función de su tamaño.
filtrado: Líquido producido por la filtración de un glomérulo en el riñón.
filum terminal: Extensión fibrosa de la médula espinal, que se extiende desde el cono medular al ligamento coccígeo.
fimbrias: Término empleado para describir las prolongaciones digitiformes que rodean la entrada a la trompa de Falopio.
fisiología: Estudio de la función; analiza la forma de realizar las funciones vitales de los organismos.
fístula: Comunicación anómala entre dos órganos o entre un órgano interno o un espacio y la superficie corporal.
fisura: Surco elongado o desembocadura.
flácido: Suave, sin tensión, fofo; músculo sin tono.
flagelo: Orgánulo estructuralmente similar a un cilio, pero que se emplea para propulsar una célula a través de un líquido.
flatulencia: Gas intestinal.
flexión: Movimiento en las articulaciones que reduce el ángulo entre dos huesos articulados; lo opuesto a la extensión.
flexor: Músculo que produce la flexión.
flexura: Curvatura.
flujo de membrana: Desplazamiento de secciones de la superficie de la membrana hacia o desde la superficie celular y componentes del retículo endoplásmico, el aparato de Golgi y las vesículas.
flujo retrógrado: Transporte de materiales desde las ramas terminales al soma de una neurona.
fluoroscopio: Instrumento que permite la exploración del cuerpo con rayos X en tiempo real, en lugar de emplear imágenes fijas en placas fotográficas.
folia: Pliegues a modo de hojas; se alude con ello a los delgados pliegues de la superficie de la corteza cerebelosa.
foliculitis: Inflamación de un folículo, como sucede en los folículos pilosos cutáneos.
folículo: Pequeño saco o glándula secretora.
folículo piloso: Estructura accesoria del tegumento; tubo revestido por epitelio escamoso estratificado que empieza en la superficie de la piel y termina en la papila pilosa.
folículo terciario: Folículo ovárico maduro que contiene una gran cámara rellena de líquido.
fonación: Sonido generado en la laringe.
fondo: Base de un órgano.
fondo de saco: Arco o espacio limitado por un arco; en el encéfalo, vía a modo de arco que conecta el hipocampo con los cuerpos mamilares; en el ojo, bolsillo delgado que se sitúa en el lugar en el que el epitelio de la conjuntiva ocular se repliega sobre sí mismo para formar la conjuntiva palpebral.
fondo de saco rectouterino: Fondo de saco peritoneal entre la superficie anterior del recto y la superficie posterior del útero.
fontanela: Región relativamente blanda fibrosa y flexible entre dos huesos planos en el cráneo en desarrollo.
formación reticular: Red difusa de sustancia gris que se extiende a lo largo de toda la longitud del tronco del encéfalo.
forúnculo: Absceso provocado por la invasión e inflamación de un folículo piloso o una glándula sebácea.
fosa: Depresión poco profunda o surco en la superficie de un hueso.
fosfolípido: Importante lípido de la membrana cuya estructura incluye regiones hidrófilas e hidrófobas.
fosforilación: Adición de un grupo fosfato a una molécula.
fotorrecepción: Sensibilidad a la luz.
fóvea: Parte de la retina que aporta la visión más precisa y en la que existe la máxima concentración de conos; se llama también **mácula lútea.**
fractura: Rotura o melladura en un hueso.
fractura de Colles: Fractura del extremo distal del radio y posiblemente del cúbito con desplazamiento posterior de los fragmentos óseos distales.
fractura en tallo verde: Fractura que suele afectar a los huesos largos de niños pequeños.
frecuencia ventilatoria: Frecuencia respiratoria.
frenillo: Brida; *véase* **frenillo lingual.**
frenillo lingual: Pliegue epitelial que ancla la superficie inferior de la lengua con el suelo de la boca.
fructosa: Hexosa (azúcar simple que contiene seis carbonos) presente en los alimentos y el semen.
gametogenia: Formación de los gametos.
gametos: Células reproductoras (espermatozoides u óvulos) que contienen la mitad de la dotación cromosómica normal.
ganglio: Colección de cuerpos de células nerviosas fuera del SNC.
ganglio autónomo: Colección de motoneuronas viscerales fuera del SNC.
ganglio colateral: Ganglio simpático localizado delante de la columna vertebral y separado de la cadena simpática.
ganglio nodoso: Ganglio sensitivo del nervio craneal X.
ganglio petroso: Ganglio sensitivo del nervio glosofaríngeo (NC IX).
ganglio prevertebral: *Véase* **ganglio colateral.**
ganglio de la raíz dorsal: Ganglio del SNP que contiene los cuerpos de las neuronas sensitivas.
ganglios linfáticos: Órganos linfáticos responsables de vigilar la composición de la linfa.
gasto cardíaco: Cantidad de sangre que propulsa cada minuto el ventrículo izquierdo; normalmente equivale a unos 5 litros.
gastrectomía: Resección quirúrgica total o parcial del estómago.
gástrico: Relativo al estómago.
gastrina: Hormona producida por las células enteroendocrinas del estómago, cuando se exponen a estimulación mecánica o vagal, y el duodeno, cuando se exponen a las proteínas no digeridas presentes en el quimo.
gastritis: Inflamación del estómago.
gastro-: Relativo al estómago; cuerpo o estómago de un músculo estriado.
gastroscopio: Instrumento de fibra óptica que permite explorar visualmente el revestimiento del estómago.
gastrulación: Movimiento de las células de la masa celular interna, que da lugar a las tres capas primarias del embrión.
gemelos dicigotos: Gemelos generados por la fecundación de dos óvulos distintos.

gemelos monocigotos: Gemelos que se producen por la división de un óvulo fecundado único (cigoto).
gen: Parte de la hebra del ADN que funciona como unidad hereditaria y que se localiza en un *locus* particular de un cromosoma específico.
gen recesivo: Alelo que afecta al fenotipo sólo cuando el individuo es homocigoto para ese rasgo.
genética: Estudio de los mecanismos de la herencia.
geniculado: Parecido a una rodilla pequeña; los núcleos geniculados medial y lateral son núcleos talámicos de las paredes del tálamo encefálico.
genitales: Órganos reproductores.
genotipo: Complemento genético de un individuo determinado.
gestación: Período de desarrollo intrauterino.
ginecólogos: Médicos especializados en la patología del aparato reproductor femenino.
gingival: Relativo a las encías.
gingivitis: Inflamación de las encías.
glande del pene: Punta expandida del pene que rodea al meato uretral; se continúa con el cuerpo esponjoso.
glándula: Células que producen las secreciones endocrinas o exocrinas, originadas en el epitelio.
glándula endocrina: Glándula que secreta hormonas a la sangre.
glándula exocrina: Glándula que secreta hacia la superficie corporal o en una vía conectada con el exterior.
glándula lagrimal: Glándula productora de las lágrimas en la superficie dorsolateral del ojo.
glándula mixta: Glándula que tiene células endocrinas y exocrinas, o una glándula exocrina que produce secreciones mucosas y serosas.
glándula parótida: Glándula salival grande, que secreta saliva con elevadas concentraciones de amilasa salival (alfa).
glándula pineal: Tejido neural de la parte posterior del techo del diencéfalo, responsable de la secreción de melatonina.
glándula suprarrenal: Pequeña glándula endocrina secretora de esteroides y catecolaminas, localizada encima de cada riñón.
glándula unicelular: Célula caliciforme; célula mucosa.
glándulas bulbouretrales: Glándulas mucosas situadas en la base del pene que vierten sus secreciones en la uretra peneana; se denominan también glándulas de Cowper.
glándulas cardíacas: Glándulas mucosas características del cardias gástrico.
glándulas ceruminosas: Glándulas tegumentarias responsables de secretar el cerumen.
glándulas duodenales: *Véase* **glándulas submucosas.**
glándulas ecrinas: Glándulas sudoríparas de la piel que producen una secreción acuosa.
glándulas endometriales: Glándulas secretoras del endometrio.
glándulas gástricas: Glándulas tubulares del estómago cuyas células producen ácido, enzima, factor intrínseco y hormonas.
glándulas mamarias: Glándulas productoras de leche en la mama femenina.
glándulas paratiroides: Cuatro pequeñas glándulas dentro de la superficie posterior del tiroides; responsables de la secreción de hormona paratiroidea.
glándulas prepuciales: Glándulas de la superficie interna del prepucio que producen una secreción viscosa y olorosa llamada **esmegma**.
glándulas salivales sublinguales: Glándulas salivales secretoras de moco situadas por debajo de la lengua.
glándulas salivales submaxilares: Glándulas salivales alojadas dentro de depresiones en la superficie medial de la mandíbula; glándulas salivales que producen una mezcla de mucinas y enzimas (amilasa salival).
glándulas sebáceas: Glándulas secretoras del sebo, que se suelen asociar a los folículos pilosos.
glándulas seminales: Glándulas del aparato reproductor masculino que producen aproximadamente un 60% del volumen del semen; se llaman también *vesículas seminales*.
glándulas submucosas: Glándulas mucosas situadas en la submucosa del duodeno.
glándulas vestibulares mayores: Glándulas mucosas de las paredes vaginales que secretan hacia el vestíbulo; equivalente a las glándulas bulbouretrales del varón.
glaucoma: Trastorno ocular caracterizado por un incremento de las presiones intraoculares por un drenaje inadecuado del humor acuoso en el conducto de Schlemm.
glicéridos: Lípidos constituidos por glicerol ligado a 1-3 ácidos grasos.
globulinas: Proteínas plasmáticas globulares con diversas funciones importantes.
glóbulo rojo: *Véase* **eritrocito.**
glomérulo: Bola o nudo; a nivel renal una bola de capilares que se proyecta hacia el interior del extremo proximal expandido de una nefrona; lugar donde se produce la filtración, el primer paso de la producción de la orina.
glomerulonefritis: Inflamación de los glomérulos renales.
glotis: Paso de la faringe a la laringe.
glucagón: Hormona secretada por las células alfa de los islotes pancreáticos; aumenta la glucemia.
glucocorticoesteroides: Hormonas secretadas por la zona fascicular de la corteza suprarrenal para modificar el metabolismo de la glucosa; el cortisol y la corticosterona son ejemplos importantes.
glucógeno: Polisacárido que representa una fuente reserva de energía; polímero constituido por una cadena larga de moléculas de glucosa.
glucolípidos: Compuestos generados por la combinación de carbohidratos y lípidos.
glucoproteínas: Compuesto que contiene un grupo de carbohidratos relativamente pequeño unido a una proteína grande.
glucosa: Azúcar de seis carbonos, $C_6H_{12}O_6$; fuente de energía preferida por la mayor parte de las células y la única que pueden emplear las neuronas en condiciones normales.
glucosuria: Presencia de glucosa en la orina.
gónadas: Órganos que producen los gametos y hormonas.
gonadotropina coriónica humana (HCG): Hormona placentaria que mantiene el cuerpo lúteo durante los tres primeros meses de la gestación.
gonadotropinas: Hormonas que estimulan a las gónadas (testículo u ovario).
gonfosis: Sinartrosis fibrosa que une un diente con el hueso maxilar; *véase* **ligamento periodontal.**
gota: Trastorno clínico que se debe a un aumento del ácido úrico en la sangre y los tejidos periféricos.
granulaciones aracnoideas: Prolongaciones de la aracnoides que se proyectan en el seno sagital superior; lugares en los que el LCR entra a la circulación venosa.
granulocitos: Glóbulos blancos de la sangre que contienen gránulos visibles con el microscopio óptico; incluyen los eosinófilos, basófilos y neutrófilos; llamados también leucocitos granulares.
grupo fosfato: PO_4^{3-}.
gustativo: Relativo al gusto.
hallux: Dedo gordo.
haploide: Dotado de la mitad del número de cromosomas normales; característica de los gametos.
haustras: Bolsas a modo de sacos a lo largo de la longitud del intestino grueso que se deben a la tensión sobre las tenias del colon.
haz de His (HH): Células de conducción especializadas del tabique interventricular que transportan el estímulo contráctil desde el nódulo AV a las ramas del haz y desde allí a las fibras de Purkinje.
heces: Productos de desecho eliminados del aparato digestivo por el ano; contiene residuos no digeribles, bacterias, moco y células epiteliales.
hematocrito: Porcentaje del volumen de sangre completa constituido por células; se llama también volumen celular concentrado (VCC) o volumen de eritrocitos concentrado (VEC).
hematólogos: Especialistas en los trastornos de la sangre y sus tejidos formadores.
hematoma: Tumor o tumefacción repleta de sangre.
hematuria: Presencia de una cantidad anómala de eritrocitos en la orina.
hemiplejía: Parálisis que afecta a un lado del cuerpo (brazo, tronco y pierna).
hemisferios cerebrales: Porciones expandidas del cerebro cubiertas por corteza neural.
hemo: Anillo de porfirinas con un átomo de hierro central que se puede unir de forma reversible a las moléculas de oxígeno; componente de la molécula de hemoglobina.
hemodiálisis: Diálisis de la sangre.
hemofilia: Trastorno congénito secundario a una síntesis inadecuada de uno de los factores de la coagulación.
hemoglobina: Proteína constituida por cuatro subunidades globulares cada una de ellas ligada a una sola molécula de hemo; proteína presente en los eritrocitos que les permite transportar oxígeno en la sangre.
hemólisis: Destrucción (lisis) de los eritrocitos.
hemopoyesis: Formación y diferenciación de las células sanguíneas.
hemorragia: Pérdida de sangre.
hemorroides: Venas varicosas tumefactas que protruyen en las paredes del recto y/o conducto anal.
hemostasia: Detención del sangrado.
hemotórax: Entrada de sangre en una de las cavidades pleurales.
hendidura en la vaina de mielina: Área localizada entre células gliales adyacentes en la cual la cubierta de mielina de un axón es incompleta. Llamado también *nódulo de Ranvier* o *internódulo*.
heparina: Anticoagulante liberado por los basófilos y mastocitos activados.
hepatitis: Inflamación del hígado por la exposición a sustancias químicas tóxicas, fármacos o virus.
hepatocito: Célula hepática.
hernia: Protrusión de un asa o porción de un órgano visceral a través de la pared abdominopélvica o la cavidad torácica.
hernia de disco: Rotura de la vaina de tejido conjuntivo del núcleo pulposo de un disco intervertebral.
heterocigoto: Dotado de dos alelos distintos para los *locus* correspondientes de un par de cromosomas; el fenotipo individual se puede determinar por uno o por los dos alelos.
heterotópico: Ectópico, situado fuera de su localización normal.
hexosa: Azúcar simple con seis carbonos.
hialuronidasa: Enzima que degrada el ácido hialurónico; producida por algunas bacterias y presente en el capuchón acrosómico del espermatozoide.
hiato: Hendidura, agujero o apertura.
hidrocefalia: Trastorno ocasionado por una excesiva producción o drenaje inadecuado del líquido cefalorraquídeo.
hígado: Órgano del aparato digestivo que tiene funciones distintas y vitales entre las cuales se incluyen la producción de las proteínas plasmáticas, la excreción de la bilis, el depósito de reservas de energía, la desintoxicación de los venenos y la interconversión de los nutrientes.
hilio: Región localizada por la que se unen a un órgano los vasos sanguíneos o linfáticos, los nervios y/u otras estructuras anatómicas.
himen: Membrana formada durante el desarrollo que tapa el orificio vaginal.
hipercapnia: Concentración plasmática de dióxido de carbono elevada, que con frecuencia se debe a una hipoventilación o perfusión tisular inadecuada.
hiperglucemia: Aumento de las concentraciones de glucosa plasmática.
hipermetropía: Mala visión de cerca, que se caracteriza por una incapacidad de enfocar los objetos próximos.
hiperplasia: Aumento de tamaño anormal de un órgano por incremento del número de células.
hiperpnea: Aumento patológico de la frecuencia y profundidad de las respiraciones.

hiperreflexia: Respuestas reflejas exageradas de forma anormal frente a la estimulación.
hipersecreción: Hiperactividad de las glándulas que producen secreciones exocrinas o endocrinas.
hipertensión: Elevación anómala de la presión arterial.
hipertermia: Aumento anómalo de la temperatura corporal.
hipertiroidismo: Producción excesiva de hormonas tiroideas.
hipertónico: Al comparar dos soluciones, se aplica a la que tiene una osmolaridad mayor.
hipertrofia: Aumento del tamaño del tejido sin división celular.
hiperventilación: Frecuencia respiratoria suficiente para reducir la P_{CO_2} plasmática hasta cifras inferiores a las normales.
hipoblasto: Superficie inferior de la masa celular interna que mira hacia el blastocele del embrión inicial.
hipocampo: Parte del sistema límbico que se ocupa de la organización y almacenamiento de los recuerdos.
hipocapnia: Valor anormalmente bajo de la P_{CO_2} plasmática, en general, resultado de la hiperventilación.
hipodermis: Capa subcutánea, región de tejido conjuntivo laxo llamada también **fascia superficial.**
hipoestesia: Sensibilidad frente a los estímulos reducida de forma anómala.
hipófisis (glándula pituitaria): «Glándula maestra», situada en la silla turca del hueso esfenoides y que se conecta con el hipotálamo a través del infundíbulo; incluye un lóbulo posterior (parte nerviosa) y otro anterior (partes intermedia y distal).
hiponiquio: Engrosamiento de la epidermis por debajo del margen libre de la uña.
hiporreflexia: Reducción anómala de las respuestas reflejas frente a los estímulos.
hiposecreción: Velocidad anormalmente reducida de la secreción exocrina o endocrina.
hipotálamo: Suelo del diencéfalo; región del encéfalo que aloja los centros implicados en la regulación inconsciente de las funciones viscerales, las emociones, los impulsos y la coordinación de las funciones endocrina y neural.
hipotónico: Al comparar dos soluciones, se aplica a la que tiene una osmolaridad menor.
hipoventilación: Frecuencia respiratoria que resulta insuficiente para mantener la P_{CO_2} plasmática dentro de valores normales.
hipovolémico: Volumen sanguíneo anormalmente bajo..
hipoxia: Baja concentración tisular de oxígeno.
hirsutismo: Crecimiento excesivo de vello en las mujeres siguiendo un patrón de distribución característico de los varones adultos; en ocasiones se debe a una hiperproducción de andrógenos.
histamina: Sustancia química liberada por los mastocitos o basófilos estimulados para iniciar o potenciar una respuesta inflamatoria.
histología: Estudio de los tejidos.
histonas: Proteínas asociadas al ADN nuclear y alrededor de las cuales se enrollan las hebras del ADN.
homeostasis: Mantenimiento de un entorno interno relativamente constante.
homocigoto: Dotado del mismo gen para un carácter determinado en los dos cromosomas homólogos.
hormona: Compuesto secretado por una célula que circula por el aparato circulatorio para influir sobre las actividades de las células situadas en otras regiones del cuerpo.
hormona adrenocorticótropa (ACTH): Hormona que estimula la producción y secreción de glucocorticoesteroides por la zona fascicular de la corteza suprarrenal; se libera en la adenohipófisis en respuesta a CRF.
hormona antidiurética (ADH): Hormona sintetizada en el hipotálamo y que se secreta hacia la neurohipófisis; induce la retención de agua en los riñones y aumento de la presión arterial.
hormona corticosuprarrenal: Cualquiera de los esteroides producidos por la corteza suprarrenal.
hormona del crecimiento (GH): Hormona de la adenohipófisis que estimula el crecimiento tisular y el anabolismo cuando los nutrientes son abundantes, y limita la dependencia de la glucosa de los tejidos cuando los nutrientes son escasos.
hormona estimuladora de las células intersticiales: Nombre alternativo para la LH en el varón; estimula la producción de andrógenos por las células intersticiales testiculares.
hormona estimuladora de los folículos (FSH): Hormona secretada por la adenohipófisis; estimula la ovogenia (mujer) y la espermatogenia (varón).
hormona estimuladora de los melanocitos (MSH): Hormona elaborada en la parte intermedia de la adenohipófisis que estimula la producción de melanina.
hormona estimuladora de la tiroides (TSH): Hormona de la adenohipófisis que estimula la secreción de las hormonas tiroideas en el tiroides.
hormona insulinotrópica dependiente de glucosa (GIP): Hormona duodenal liberada cuando el quimo entrante contiene una gran cantidad de carbohidratos; estimula la secreción de insulina y reduce la actividad gástrica.
hormona liberadora de corticotropina (CRH): Hormona liberadora secretada por el hipotálamo que estimula la secreción de ACTH en la adenohipófisis.
hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH): Hormona liberadora hipotalámica que determina la secreción de FSH y LH en la adenohipófisis.
hormona luteinizante (LH): Hormona de la adenohipófisis que en la mujer ayuda a la FSH para la estimulación folicular, desencadena la ovulación e induce el mantenimiento y la secreción de las glándulas endometriales; en el varón estimula la espermatogenia; se denomina también **hormona estimuladora de las células intersticiales.**
hormona paratiroidea: Hormona secretada por las glándulas paratiroideas cuando la calcemia disminuye por debajo de las concentraciones normales; condiciona un aumento de la actividad osteoclástica, aumento de la captación intestinal de calcio y reducción de la eliminación de calcio en los riñones.
hormonas gonadótropas: FSH y LH, hormonas que estimulan el desarrollo de los gametos y la secreción de hormonas sexuales.
hormonas tiroideas: Hormonas triyodotironina (T_3) y tiroxina (T_4) del tiroides; que estimulan el metabolismo tisular, el consumo de energía y el crecimiento.
hoz: Con forma de hoz.
hoz cerebral: Sábana de duramadre en forma curva que se extiende entre los dos hemisferios cerebrales; rodea al seno sagital superior.
huesecillos: Huesos pequeños.
huesecillos auditivos: Huesos situados en el oído medio: martillo, yunque y estribo.
hueso: *Véase* **tejido óseo.**
hueso compacto: Hueso denso que contiene osteonas paralelas.
hueso coxal: Hueso de la cadera.
hueso esponjoso: Hueso trabecular, constituido por una serie de trabéculas óseas. También llamado *hueso trabecular*.
hueso sesamoideo: Hueso formado en un tendón.
huesos de tipo sutura: Huesos irregulares que se forman en el tejido fibroso situado entre los huesos planos del cráneo en desarrollo; *véase* también **huesos wormianos.**
huesos wormianos: *Véase* **huesos de tipo sutura.**
humor acuoso: Líquido parecido a la perilinfa o el LCR que rellena la cámara anterior ocular.
humor vítreo: Masa gelatinosa de la cámara vítrea del ojo.
huso mitótico: Huso muscular (fibras intrafusales) y su inervación sensitiva y motora.
ictericia: Trastorno caracterizado por el color amarillo de los tejidos conjuntivos por el aumento de las concentraciones tisulares de bilirrubina; asociada a lesiones hepáticas o del sistema biliar.
íleon: Los últimos 240 cm del intestino delgado.
ileostomía: Creación quirúrgica de un orificio en el íleon; agujero creado cuando se une el íleon quirúrgicamente a la pared abdominal.
ilion: Hueso más grande de los tres que fusionados forman el coxal.
implantación: Erosión de la pared uterina por el blastocisto.
impotencia: Incapacidad de conseguir o mantener una erección en el varón.
impulso nervioso: Potencial de acción en la membrana de una célula nerviosa.
in vitro: Fuera del cuerpo, en un entorno artificial.
in vivo: Dentro de un organismo vivo.
incisivos: Dos parejas de dientes aplanados a modo de hojas, localizados en la parte frontal de las arcadas dentarias de los maxilares superior e inferior.
inclusiones: Agregaciones de pigmentos insolubles, nutrientes y otros materiales dentro del citoplasma.
incontinencia: Incapacidad de controlar la micción (o defecación) de forma voluntaria.
inervación: Distribución de los nervios sensitivos y motores de una región u órgano específicos.
infarto: Foco de células muertas por interrupción de la circulación.
infarto de miocardio: Ataque al corazón; lesión en el músculo cardíaco por interrupción de la circulación coronaria regional.
infección: Invasión y colonización de los tejidos corporales por gérmenes patógenos.
inferior: Punto de referencia orientativo que indica por debajo.
infertilidad: Incapacidad de concebir.
inflamación: Mecanismo defensivo inespecífico que actúa a nivel tisular y se caracteriza por edema, enrojecimiento, calor, dolor y, en ocasiones, pérdida de la función.
infundíbulo: Estructura en forma de embudo; en el sistema nervioso, alude a la conexión entre la hipófisis y el hipotálamo; el infundíbulo de la trompa uterina es la entrada rodeada de las fimbrias que recibe el óvulo en el momento de la ovulación.
ingeniería genética: Investigación y experimentos que implican la manipulación de la composición genética de un organismo.
ingesta: Introducción de materiales al tubo digestivo por la boca.
ingle: Región inguinal.
inhibina: Hormona producida por las células sustentaculares que inhibe la secreción por parte de la hipófisis de FSH.
inmunidad: Resistencia a las lesiones y enfermedades producidas por compuestos extraños, toxinas y patógenos.
inmunidad humoral: Inmunidad obtenida por la existencia de anticuerpos circulantes elaborados por las células plasmáticas.
inmunidad mediada por células: Resistencia a la enfermedad mediante la actividad de linfocitos T sensibilizados que destruyen las células portadoras de antígenos mediante contacto directo o por la liberación de linfotoxinas; llamada también inmunidad celular.
inmunización: Desarrollo de inmunidad mediante la exposición intencionada a antígenos en condiciones que impidan el desarrollo de la enfermedad, pero estimulen la producción de linfocitos B de memoria.
inmunoglobulina: Anticuerpo circulante.
inserción: Punto de anclaje de un músculo que resulta más móvil.
insoluble: Incapaz de disolverse en una solución.
insomnio: Trastorno del sueño caracterizado por la incapacidad de conciliar el sueño.
inspiración: Inhalación; introducción del aire al aparato respiratorio.
insuficiencia cardíaca congestiva (ICC): Incapacidad de mantener un gasto cardíaco adecuado por problemas circulatorios o lesiones miocárdicas.

ínsula: Región del lóbulo temporal que sólo se puede visualizar tras abrir el surco lateral.
insulina: Hormona secretada por las células beta de los islotes pancreáticos; determina una reducción de la glucemia plasmática.
interdigitar: Entrelazar.
interfase: Estadio de la vida de una célula durante el cual los cromosomas están desenrollados y se producen todas las funciones celulares, excepto la mitosis.
interferones: Péptidos liberados por las células infectadas por un virus, sobre todo los linfocitos, y que aumentan la resistencia de otras células a la infección viral y reducen la velocidad de replicación vírica.
interleucinas: Péptidos liberados por los monocitos y linfocitos activados que contribuyen a la coordinación de las respuestas inmunitarias celular y humoral.
interneurona: Neuronas del interior del SNC interpuestas entre las neuronas sensitivas y motoras.
internódulo: *Véase* **hendidura en la vaina de mielina.** Área situada entre células gliales adyacentes en la que la cubierta de mielina de un axón es incompleta. Llamado también *nódulo de Ranvier*.
interorreceptores: Receptores sensitivos que monitorizan las funciones y estado de los órganos y sistemas internos.
intestino: Órgano tubular del tubo digestivo; tubo intestinal.
intestino delgado: Duodeno, yeyuno e íleon; parte del tubo digestivo localizada entre el estómago y el intestino grueso.
intestino grueso: Porciones terminales del tubo digestivo, que comprenden el colon, el recto y el conducto anal.
intrauterino: Dentro del útero; se utiliza para aludir al desarrollo prenatal.
inversión: Giro hacia dentro.
involuntario: No sometido a control consciente.
inyección: Introducción forzada de un líquido en una parte o región del cuerpo.
inyección intramuscular: Inyección de un medicamento en el vientre de un músculo estriado.
ión: Átomo o molécula que tiene carga negativa o positiva por aceptación o pérdida de un electrón.
iones del bicarbonato: HCO_3^-; componentes aniónicos del sistema tampón del bicarbonato.
ipsolateral: Respuesta refleja que afecta al mismo lado del estímulo; alusión al mismo lado del cuerpo.
iris: Estructura contráctil constituida por tejido muscular liso que forma la porción coloreada del ojo.
islotes de Langerhans: *Véase* **islotes pancreáticos.**
islotes pancreáticos: Agregados de células endocrinas en el páncreas.
isotónico: Solución que tiene una osmolaridad que no determina el desplazamiento de agua a través de la membrana celular; de idéntica potencia contráctil.
isquemia: Irrigación inadecuada de una región corporal.
isquion: Uno de los tres huesos cuya fusión da lugar al coxal.
istmo: Banda estrecha de tejido que conecta dos grandes masas.
jugo pancreático: Mezcla de tampones y enzimas digestivas que se descargan hacia el duodeno cuando se produce la estimulación por las enzimas secretina y colecistocinina.
laberinto: Conjunto de vías; en general se refiere a las estructuras del oído interno.
laberinto membranoso: Tubos rellenos de endolinfa en el oído interno que albergan sus receptores.
labios: Labios de la cara; los labios mayores y menores son componentes de los genitales externos femeninos.
lactancia: Producción de leche por las glándulas mamarias.
lactasa: Enzima que degrada un disacárido de la leche (lactosa).
lactógeno placentario humano (HPL): Hormona placentaria que estimula el desarrollo funcional de las glándulas mamarias.
lágrimas: Secreciones líquidas de las glándulas lagrimales que bañan la superficie anterior de los ojos.
laguna: Pequeña fosita o cavidad.
lámina: Capa o sábana delgada.
lámina basilar: Membrana que da soporte al órgano de Corti y separa el conducto coclear de la escala del tímpano del oído interno.
lámina cribosa: Parte del hueso etmoides del cráneo que contiene los agujeros empleados por los axones de los receptores olfativos en su trayecto hacia los bulbos olfativos del cerebro.
lámina propia: Capa de tejido conjuntivo laxo situada inmediatamente por debajo del epitelio de una mucosa.
laminectomía: Extirpación de la apófisis espinosa de una vértebra para acceder a una hernia de disco y poder tratarla.
laminillas: Capas concéntricas de hueso dentro de una osteona.
laparoscopio: Instrumento de fibra óptica que se emplea para visualizar el contenido de la cavidad abdominopélvica.
laringe: Compleja estructura cartilaginosa que rodea y protege la glotis y las cuerdas vocales; el margen superior está unido al hueso hioides y el inferior a la tráquea.
laringofaringe: División de la faringe inferior a la epiglotis y superior al esófago.
lateral: Relativo a un lado.
laxantes: Compuestos que inducen la defecación por aumento del peristaltismo o aumentan el contenido de agua y el volumen de las heces.
lesión: Alteración localizada de la organización tisular.
leucemia: Enfermedad maligna de los tejidos formadores de la sangre.
leucocitos: Glóbulos blancos de la sangre; los granulocitos y agranulocitos de la sangre.
leucocitosis: Aumento anómalo de las glóbulos blancos circulantes en la sangre.
leucopenia: Disminución anómala de las glóbulos blancos circulantes en la sangre.
leucopoyesis: Formación de los leucocitos.
ligamento: Banda densa de fibras de tejido conjuntivo que unen un hueso con otro.
ligamento arterioso: Banda fibrosa presente en adultos que se corresponde con el resto del conducto arterioso del feto.
ligamento coccígeo: Extensión fibrosa de la duramadre y el filum terminal; consigue la estabilización longitudinal de la médula espinal.
ligamento falciforme: Sábana de mesenterio que contiene el ligamento redondo, resto fibroso de la vena umbilical fetal.
ligamento de la nuca: Ligamento elástico que se extiende entre la vértebra prominente y la cresta occipital externa.
ligamento periodontal: Fibras de colágeno que unen el cemento del diente al periostio del alvéolo circundante.
ligamento redondo: Banda fibrosa en el ligamento falciforme que representa los restos de la vena umbilical fetal.
ligamentos cruzados: Par de ligamentos intracapsulares de la rodilla (anterior y posterior).
ligamentos denticulados: Fibras de soporte que se extienden desde la superficie de la médula espinal en sentido lateral, anclando la piamadre a la duramadre y dando soporte lateral a la médula espinal.
ligar: Anudar.
limbo: Margen de la córnea, marcado por la transición desde el epitelio corneal a la conjuntiva ocular.
línea alba: Banda tendinosa que se dispone a lo largo de la línea media del recto abdominal.
líneas de rotura: Líneas de tensión en la piel que siguen la orientación de los haces mayores de fibras de colágeno en la dermis.
linfa: Contenido líquido de los vasos linfáticos, cuya composición se parece al líquido intersticial.
linfadenopatías: Aumento de tamaño patológico de los ganglios linfáticos.
linfáticos: Vasos del sistema linfático.
linfedema: Tumefacción de los tejidos periféricos por exceso de producción de linfa o su drenaje inadecuado.
linfocinas: Sustancias químicas secretadas por los linfocitos activados.
linfocito: Célula del sistema linfático que participa en la respuesta inmunitaria.
linfocitos (células) B: Linfocitos responsables de la producción de anticuerpos, tras su conversión a células plasmáticas.
linfocitos T: Linfocitos responsables de la inmunidad celular y de la coordinación y regulación de la respuesta inmunitaria; incluyen linfocitos T colaboradores (reguladores y supresores) y linfocitos T citotóxicos (asesinos).
linfocitos T citotóxicos: Linfocitos de la respuesta inmunitaria celular que destruye las células diana mediante contacto directo o por la secreción de una linfotoxina; denominadas también células T asesinas.
Linfocitos T colaboradores: Linfocitos (células) T cuyas secreciones y otras actividades coordinan las respuestas inmunitarias humoral y celular.
linfocitos T supresores: Linfocitos que inhiben la activación de los linfocitos B y la secreción de anticuerpos por las células plasmáticas.
linfopoyesis: Producción de linfocitos.
linfotoxina: Secreción de los linfocitos que destruye la célula diana.
lingual: Relativo a la lengua.
lipasa: Enzima pancreática que degrada los triglicéridos.
lipidemia: Concentración elevada de lípidos en la circulación.
lípido: Compuesto orgánico que contiene carbonos, hidrógenos y oxígenos en una proporción que no se aproxima a 1:2:1; incluye aceites, grasas y ceras.
lipogenia: Síntesis de lípidos a partir de precursores distintos de los lípidos.
lipólisis: Catabolismo de los lípidos como fuente energética.
lipoproteína: Compuesto que contiene una cantidad relativamente pequeña de lípidos ligados a una proteína.
líquido amniótico: Líquido que rellena la cavidad amniótica; amortigua y da soporte al embrión/feto.
líquido cefalorraquídeo: Líquido que baña las superficies internas y externas del SNC; secretado por el plexo coroideo.
líquido extracelular: Todos los líquidos corporales distintos de los que se encuentran dentro de las células; se incluyen el plasma y el líquido intersticial.
líquido intercelular: *Véase* **líquido intersticial.**
líquido intersticial: Líquido en los tejidos que rellena los espacios entre las células.
líquido intracelular: Citosol.
líquido sinovial: Sustancia secretada por las membranas sinoviales que lubrica las articulaciones.
lisis: Destrucción de una célula por la rotura de su membrana celular.
lisosoma: Vesícula intracelular que contiene enzimas digestivas.
lisozima: Enzima presente en algunas secreciones exocrinas y dotada de propiedades antibióticas.
lobulillo: Lóbulo pequeño o subdivisión de un lóbulo; unidad organizativa básica del hígado a nivel histológico.
lordosis: Exageración de la curvatura lumbar.
lumbar: Relativo a la parte inferior de la espalda.
luxación: Desplazamiento por la fuerza de un hueso articulado a una posición anormal, que en general se asocia a lesiones de los tendones, ligamentos y cápsula articular o de otras estructuras.
luz: Espacio central dentro de un conducto o vía interna.
macrófago: Célula fagocítica del sistema monocito-macrófago.
mácula: Complejo receptor en el sáculo o el utrículo y que responde a la aceleración lineal o la gravedad.
mácula densa: Grupo de células secretoras especializadas en una parte del túbulo contorneado distal adyacente al glomérulo y de las células yuxtaglomerulares; un componente del aparato yuxtaglomerular.

mácula lútea: Fóvea.
maniobra de Heimlich: Técnica para evitar el bloqueo de la vía aérea basada en la compresión abdominal externa con elevación forzada del diafragma.
manual: Relativo a la mano.
manubrio: Elemento superior ancho y aproximadamente triangular del esternón.
martillo: Primer huesecillo auditivo, unido a la membrana timpánica y al yunque.
masa celular interna: Células del blastocisto que se convierten en el cuerpo del embrión.
mastectomía: Resección quirúrgica de toda o parte de la mama.
masticación: Acto de masticar.
mastocito: Célula del tejido conjuntivo que libera histamina, serotonina y heparina cuando se estimula, iniciando una respuesta inflamatoria.
matriz: Sustancia fundamental del tejido conjuntivo.
meato: Orificio o lugar de entrada a una vía.
meato acústico externo: Vía en el hueso temporal que lleva hasta la membrana timpánica.
mecanorrecepción: Detección de estímulos mecánicos, como tacto, presión o vibración.
medial: Situado hacia la línea media del cuerpo.
mediastino: Tabique entre dos partes de un órgano o cavidad, como la masa de tejido central que divide la cavidad torácica en dos cavidades pleurales; incluye la aorta y otros grandes vasos, el esófago, la tráquea, el timo, la cavidad pericárdica y el corazón y una serie de nervios, pequeños vasos y linfáticos.
medicación transdérmica: Administración de un fármaco para que se absorba a través de la piel.
médula: 1. Núcleo interno de un órgano. 2. Tejido que rellena las cavidades internas de un hueso; pueden predominar las células hematopoyéticas (médula roja) o el tejido adiposo (médula amarilla).
médula suprarrenal: Núcleo de la glándula suprarrenal; ganglio simpático modificado que secreta catecolaminas hacia la sangre tras la activación simpática.
megacariocitos: Células de la médula ósea responsables de la formación de las plaquetas.
meiosis: División celular que genera los gametos que tienen la mitad de la dotación cromosómica normal.
melanina: Pigmento pardo-amarillento producido por los melanocitos de la piel.
melanocito: Célula especializada presente en las capas más profundas del epitelio escamoso estratificado de la piel y responsable de la producción de melanina.
melanomas: Tumores malignos cutáneos peligrosos que se originan en los melanocitos.
melatonina: Hormona secretada por la glándula pineal; inhibe la secreción de MSH y gonadotropinas.
membrana: Cualquier lámina o tabique; capa constituida por un epitelio y el tejido conjuntivo subyacente.
membrana basal: Capa de filamentos y fibras que anclan un epitelio al tejido conjuntivo subyacente.
membrana cutánea: La epidermis y la capa papilar de la dermis.
membrana interósea: Membrana de tejido conjuntivo fibroso entre los tallos de la tibia y el peroné o el cúbito y el radio; ejemplo de anfiartrosis fibrosa.
membrana mucosa: *Véase* **mucosa.**
membrana plasmática (plasmalema): Membrana celular.
membrana serosa: Epitelio escamoso y el tejido conjuntivo laxo subyacente; revestimiento de las cavidades pleural, pericárdica y peritoneal.
membrana sinovial: Capa incompleta de fibroblastos que afrontan la cavidad sinovial asociada al tejido conjuntivo laxo subyacente.
membrana tectorial: Membrana gelatinosa suspendida encima de las células pilosas del órgano de Corti.
membrana timpánica: Membrana que separa el meato auditivo externo del oído medio; membrana cuyas vibraciones se transmiten a los huesecillos auditivos y en último término a la ventana oval; tímpano.
membrana vestibular: Membrana que separa la rampa media de la rampa vestibular en el oído interno.
membranas excitables: Membranas que conducen los potenciales de acción; característica de las células musculares y nerviosas.
membranas extraembrionarias: El saco vitelino, el amnios, el corion y la alantoides.
menarquia: Inicio de la función menstrual.
meninges: Tres membranas que rodean las superficies del SNC; duramadre, piamadre y aracnoides.
meninges vertebrales: Membranas especializadas que revisten el conducto raquídeo y aportan protección, estabilización, nutrición y absorción de los impactos a la médula espinal.
meningitis: Inflamación de las meninges craneales o medulares.
meniscectomía: Resección de un menisco.
menisco: Almohadilla de cartílago fibroso entre las superficies contrapuestas de una articulación.
menopausia: Interrupción de los ciclos uterinos como consecuencia del envejecimiento y del agotamiento de los folículos viables.
menstruación: Expulsión por descamación de sangre y tejido endometrial en la regla.
merocrino: Tipo de secreción en el cual la célula expulsa el material por exocitosis.
mesencéfalo: Cerebro intermedio.
mesénquima: Tejido conjuntivo embrionario/fetal.
mesenterio: Capa doble de membrana serosa que da soporte y estabiliza la posición de un órgano dentro de la cavidad abdominopélvica y es un trayecto para los vasos sanguíneos, nervios y linfáticos asociados.
mesodermo: Capa germinal intermedia que se encuentra situada entre el ectodermo y el endodermo del embrión.
mesotelio: Epitelio escamoso simple que reviste una de las divisiones de la cavidad corporal ventral.
metabolismo: Suma de todos los procesos bioquímicos que suceden en el cuerpo humano en un determinado momento; incluye anabolismo y catabolismo.
metabolitos: Compuestos generados en el cuerpo como consecuencia de las reacciones metabólicas.
metacarpianos: Los cinco huesos de la palma de la mano.
metafase: Estadio de la mitosis en el cual los cromosomas se alinean siguiendo el plano ecuatorial de la célula.
metáfisis: Región de un hueso largo localizada entre la epífisis y la diáfisis, que se corresponde con la localización del cartílago epifisario del hueso en desarrollo.
metaloproteínas: Proteínas plasmáticas que transportan iones metálicos.
metarteriola: Vaso que conecta una arteriola con una vénula y aporta sangre al plexo capilar. Llamado también *arteriola precapilar*.
metástasis: Diseminación de una enfermedad de un órgano a otro.
metatarsiano: Uno de los cinco dedos del pie que se articulan con el tarso (en la parte proximal) y las falanges (en la parte distal).
metencéfalo: La protuberancia y el cerebelo del encéfalo.
mialgia: Dolor muscular.
miastenia grave: Debilidad muscular secundaria a la reducción del número de receptores para ACh en la superficie sarcolémica; se sospecha que es un trastorno autoinmunitario.
micción: Acto de orinar.
micela: Agregación esférica de sales biliares, monoglicéridos y ácidos grasos en la luz del tubo intestinal.
microcefalia: Cráneo anormalmente pequeño por el cierre prematuro de una o más fontanelas.
micrófagos: Neutrófilos y eosinófilos.
microfilamentos: Filamentos de proteínas delgadas visibles con microscopio electrónico; componentes del citoesqueleto.
microglia: Células fagocíticas del SNC derivadas de los monocitos de la sangre.
microtúbulos: Túbulos microscópicos que forman parte del citoesqueleto y se encuentran en los cilios, flagelos, centríolos y fibras del huso.
microvellosidades: Extensiones pequeñas digitiformes de la membrana expuesta de la célula epitelial.
mielencéfalo: Bulbo raquídeo.
mielina: Vaina aislante que rodea a un axón y constituida por varias capas de membrana de la célula glial; aumenta de forma significativa la velocidad de conducción a lo largo del axón.
mielinización: Formación de la mielina.
mineralocorticoesteroides: Corticoesteroides elaborados por la zona glomerular de la corteza suprarrenal; esteroides como la aldosterona que influye sobre el metabolismo mineral.
miocardio: Tejido muscular cardíaco del corazón.
miocardiopatía: Enfermedad progresiva caracterizada por las lesiones del tejido muscular cardíaco.
miocarditis: Inflamación del miocardio.
miofibrillas: Colecciones organizadas de miofilamentos en las células musculares estriadas y cardíacas.
miofilamentos: Filamentos de proteínas delgadas, compuestos por las proteínas actina (filamentos finos) y miosina (filamentos gruesos).
mioglobina: Pigmento que se une al oxígeno y es frecuente especialmente en las fibras de los músculos estriados lentos y el músculo cardíaco.
miograma: Registro de la tensión producida por las fibras musculares cuando se estimulan.
miometrio: Gruesa capa de músculo liso de la pared uterina.
miopía: Mala visión de lejos; incapacidad para acomodarse a la visión lejana.
miosina: Proteína componente de los miofilamentos gruesos.
miositis: Inflamación del tejido muscular.
miotabiques: Tabiques de tejido conjuntivo que separan los músculos estriados adyacentes.
mitocondria: Orgánulo intracelular responsable de la generación de la mayor parte del ATP necesario para las operaciones celulares.
mitosis: División de una célula única que da lugar a dos células hijas idénticas; principal mecanismo para el crecimiento celular.
moco: Secreción lubricante producida por las glándulas uni- o multicelulares localizadas en los aparatos digestivo, respiratorio, urinario y reproductor.
modiolo: Eje central óseo de la cóclea.
mol: Cantidad de un elemento o compuesto que tiene una masa en gramos equivalente a un peso molecular o atómico.
molécula: Compuesto que contiene dos o más átomos que se mantienen unidos mediante enlaces químicos.
monocinas: Secreciones liberadas por las células activadas del sistema monocito-macrófago para coordinar los distintos aspectos de la respuesta inmunitaria.
monocitos: Agranulocitos fagocíticos (glóbulos blancos de la sangre) en la sangre circulante.
monoglicérido: Lípido constituido por un solo ácido graso ligado a una molécula de glicerol.
monosacárido: Azúcar sencillo, como la glucosa o la ribosa.
mórula: Colección en forma de mora de células que se genera durante las divisiones mitóticas de un cigoto.
motoneuronas gamma: Motoneuronas que ajustan la sensibilidad de los husos musculares (fibras intrafusales).
movilizador primario: Músculo que realiza una acción específica.
mucinas: Proteoglucanos responsables de las propiedades lubricantes del moco.
mucosa: Membrana mucosa; el epitelio más la lámina propia.
mucoso: Adjetivo para referirse a la presencia o producción de moco.
multiplicación contracorriente: Transporte activo entre dos ramas de un asa que contiene líquido que se desplaza en una dirección; responsable de la concentración de la orina en los túbulos renales.
muscular externa: Capas concéntricas de músculo liso responsables del peristaltismo.

muscular de la mucosa: Capa de músculo liso situada debajo de la lámina propia responsable de desplazar la superficie mucosa.
músculo: Órgano contráctil constituido por tejido muscular, vasos sanguíneos, nervios, tejidos conjuntivos y linfáticos.
músculo bipenniforme: Músculo cuyas fibras se disponen a ambos lados de un tendón común.
músculo detrusor: Músculo liso en la pared de la vejiga urinaria.
músculo estriado: Órgano contráctil del sistema muscular.
músculo liso multiunitario: Tejido muscular liso cuyas células musculares están inervadas en unidades motoras.
músculo multipenniforme: Músculo cuyas fibras internas se disponen alrededor de distintos tendones.
músculo unipenniforme: Músculo cuyas fibras se disponen todas a un lado del tendón.
mutágenos: Agentes químicos que inducen mutaciones y pueden ser carcinógenos.
narcolepsia: Trastorno del sueño caracterizado por quedarse dormido en momentos inadecuados.
narinas externas: Aperturas hacia el exterior de la cavidad nasal.
narinas internas: Acceso a la nasofaringe desde la cavidad nasal.
nasofaringe: Región posterior a las narinas interna, superior al paladar blando y que termina en la orofaringe.
necrosis: Muerte de las células o tejidos por enfermedad o lesión.
nefritis: Inflamación del riñón.
nefrolitiasis: Trastorno secundario a la formación de cálculos renales.
nefrona: Unidad funcional básica del riñón.
nefronas yuxtamedulares: Un 15% de las nefronas en las que las asas de Henle se extienden hacia la médula; estas nefronas son responsables de generar un gradiente osmótico dentro de la médula.
neonato: Lactante recién nacido o bebé.
neoplasia: Tumor o masa de tejido anormal.
nervio autónomo: Nervio periférico que incluye fibras autónoma pre- o posganglionares.
nervio ciático: Nervio que inerva las porciones posteromediales del muslo y la parte inferior de la pierna.
nervio glosofaríngeo: Nervio craneal IX.
nervio hipogloso: N XII; nervio craneal responsable del control de los músculos encargados del movimiento de la lengua.
nervio mixto: Nervio periférico que contiene fibras sensitivas y motoras.
nervio oculomotor: Nervio craneal III que controla los músculos extraoculares distintos del oblicuo superior y el recto lateral.
nervio óptico: Nervio que transporta las señales desde el ojo al quiasma óptico.
nervio raquídeo: Uno de los 31 pares de nervios originados en la médula espinal a partir de las raíces anteriores y posteriores.
nervio trigémino: Nervio craneal V, responsable de aportar la información sensitiva procedente de las regiones inferiores de la cara, incluidos los maxilares superior e inferior, y de transmitir órdenes motoras a los músculos de la masticación.
nervio troclear: Nervio craneal IV, que controla el músculo oblicuo superior del ojo.
nervio vago: NC X, nervio craneal responsable de la mayor parte de la actividad parasimpática preganglionar originada en el SNC (75%).
nervios craneales: Nervios periféricos que se originan en el encéfalo.
nervios esplácnicos: Nervios simpáticos preganglionares (mielinizadas), que terminan en uno de los ganglios colaterales.
neumotórax: Introducción de aire dentro de la cavidad pleural.
neurilema: Superficie externa de una célula glial que rodea al axón.
neurofibrillas: Microfibrillas en el citoplasma de una neurona.
neurofilamentos: Microfilamentos en el citoplasma de una neurona.
neuroglia: Células no neurales del SNC y SNP que dan soporte y protegen a las neuronas.
neurohipófisis: Lóbulo posterior de la hipófisis o *parte nerviosa*.
neurona: Célula nerviosa.
neurona anaxónica: Neurona del SNC que tiene muchas prolongaciones, pero no un axón aparente.
neurona multipolar: Neurona con muchas dendritas y un axón único, forma típica de la neurona motora.
neurona posganglionar: Neurona autónoma de un ganglio periférico, cuyas actividades controlan los efectores periféricos.
neurona preganglionar: Neurona motora visceral dentro del SNC cuyos estímulos controlan una o más motoneuronas ganglionares del SNP.
neurona unipolar: Neurona sensitivas cuyo soma se localiza en un ganglio de la raíz dorsal o un ganglio sensitivo de un nervio craneal.
neurotransmisor: Compuesto químico liberado por una neurona para modificar el potencial transmembrana de otra.
neurotúbulos: Microtúbulos en el citoplasma de una neurona.
neurulación: Proceso embriológico responsable de la formación del SNC.
neutrófilo: Micrófago granulocítico (granulocito, GB) muy abundante; en general, se trata del primer fagocito móvil que llega a una zona lesionada o infectada.
neutropenia: Recuento anormalmente bajo de neutrófilos en la sangre circulante.
nistagmo: Movimiento involuntario continuo de los ojos como si se tuvieran que adaptar a un movimiento continuo.
nocicepción: Percepción del dolor.
nódulo auriculoventricular: Cardiocitos especializados que transmiten el estímulo contráctil hacia el haz de His, las ramas del haz, las fibras de Purkinje y el miocardio ventricular; situado en la unión entre las aurículas y los ventrículos.
nódulos linfáticos agregados: Nódulos linfáticos situados debajo del epitelio del intestino delgado. Se llaman también *placas de Peyer*.
noradrenalina: Catecolamina secretada por la médula suprarrenal, liberada en mayor parte de las uniones neuroefectores simpáticas y en determinadas sinapsis del SNC; llamada también **norepinefrina.**
norepinefrina: Catecolamina neurotransmisora del SNP y SNC y hormona secretada por la médula suprarrenal; también llamada **noradrenalina.**
normovolémico: Con una volemia sanguínea normal.
núcleo: Orgánulo celular que contiene ADN, ARN y proteínas; masa de sustancia gris dentro del SNC.
núcleo caudado: Uno de los núcleos basales que participa en el control consciente de la actividad muscular.
núcleo preóptico: Núcleo hipotalámico que coordina las actividades termorreguladoras.
núcleo pulposo: Núcleo gelatinoso de un disco intervertebral.
núcleo salivatorio: Núcleo bulbar que controla las actividades secretoras de las glándulas salivales.
núcleo vestibular: Centro de procesamiento de las sensaciones originadas en el aparato vestibular; se encuentra situado cerca del límite entre la protuberancia y el bulbo raquídeo.
nucléolo: Región densa en el núcleo en la que se sintetiza el ARN.
nucleoplasma: Contenido líquido del núcleo.
nucleoproteínas: Proteínas del núcleo asociadas en general al ADN.
núcleos basales: Núcleos del cerebro implicados en la regulación de la actividad motora somática a nivel subconsciente.
nutriente: Compuesto orgánico que puede romperse dentro del organismo para liberar energía.
obesidad: Peso corporal 10%-20% superior a los pesos normales como consecuencia de la acumulación de grasa corporal.
ocular: Relativo al ojo.
oído externo: Pabellón auricular, meato acústico externo y membrana timpánica.
oído interno: Laberinto membranoso que contiene los órganos responsables del equilibrio y la audición.
oído medio: Espacio situado entre el oído externo e interno que alberga los huesecillos auditivos.
olécranon: Extremo proximal del cúbito que forma el punto prominente de la articulación.
olfato: Capacidad de oler.
oligodendrocito: Células gliales del SNC responsables de mantener la organización celular de la sustancia gris y crear la vaina de mielina en las zonas de sustancia blanca.
oncogén: Gen capaz de transformar una célula normal en cancerosa.
oncólogos: Médicos especializados en el estudio y tratamiento de los tumores.
onda P: Deflexión del ECG, que se corresponde con la despolarización auricular.
onda T: Deflexión del ECG que se corresponde con la repolarización ventricular.
opsina: Proteína, un componente estructural del pigmento visual rodopsina.
opsonización: Efecto de recubrimiento de un objeto con anticuerpos; atracción y potenciación de la fagocitosis.
ora serrata: Margen anterior de la retina neural.
órbita: Cavidad ósea dentro del cráneo que aloja el globo ocular.
órgano de Corti: *Véase* **Corti, órgano.**
órgano tendinoso: Receptor sensible a la tensión en un tendón.
órgano tendinoso de Golgi: *Véase* **órgano tendinoso.**
organogenia: Formación de órganos durante el desarrollo embriológico y fetal.
órganos: Combinaciones de tejidos que realizan funciones complejas.
orgánulo: Estructura intracelular que realiza una función o grupos de funciones específicas.
orificios laterales: Orificios en el techo del cuarto ventrículo que permiten la circulación del LCR hacia el espacio subaracnoideo.
origen: Punto de inserción de un músculo con menos movilidad.
orinar: Acto de eliminar orina; micción.
orofaringe: Porción media de la faringe, limitada en su parte superior por la nasofaringe, en la anterior por la cavidad oral y en la inferior por la laringofaringe.
orquiectomía: Resección quirúrgicas de uno o ambos testículos.
orquitis: Inflamación de los testículos.
osificación: Formación de hueso.
osificación endocondral: Conversión de un molde cartilaginoso en hueso; método característico de formación de los elementos esqueléticos excepto los huesos craneales, las clavículas y los sesamoideos.
osificación intramembranosa: Formación de hueso dentro de un tejido conjuntivo sin desarrollo previo de un modelo cartilaginoso.
osmolaridad: Concentración total de materiales disueltos en una solución independientemente de sus identidades específicas, expresada en moles.
osmorreceptor: Receptor sensible a los cambios de la osmolaridad plasmática.
ósmosis: Desplazamiento del agua a través de una membrana semipermeable hacia la solución que contiene una concentración de solutos relativamente alta.
osteoblastos: Células que producen hueso dentro del tejido conjuntivo (osificación intramembranosa) o cartílago (osificación endocondral); pueden diferenciarse de los osteocitos.

osteocito: Célula ósea responsable del mantenimiento y recambio del contenido mineral del hueso circundante.
osteoclastos: Célula que disuelve las fibras y la matriz del hueso.
osteogenia: Producción de hueso.
osteoide: Componente orgánico de la matriz ósea sintetizado por los osteoblastos y los osteocitos.
osteólisis: Degradación de la matriz mineral del hueso.
osteona: Unidad histológica básica del hueso compacto, constituida por osteocitos organizados alrededor de un canal central y separados por laminillas concéntricas.
osteopenia: Trastorno en el que se produce una cantidad inadecuada de hueso en un adulto, lo que determina una pérdida de su masa y su resistencia.
osteoporosis: Reducción de la masa y resistencia del hueso suficiente para afectar a su función normal.
ótico: Relativo al oído.
otitis media: Inflamación de la cavidad del oído medio.
ovariectomía: Resección quirúrgica de los ovarios.
ovario: Glándula reproductora femenina.
ovaritis: Inflamación de los ovarios.
ovocito: Célula cuyas divisiones meióticas dan lugar a un óvulo y tres cuerpos polares.
ovogenia: Producción del óvulo.
ovogonia: Célula madre de los ovarios cuyas divisiones dan origen a los ovocitos.
ovoplasma: Citoplasma del óvulo.
ovulación: Liberación de un ovocito secundario, rodeado de las células de la corona radiada, tras la rotura de la pared de un folículo terciario.
óvulo: Gameto producido por el sistema reproductivo femenino; huevo.
oxitocina: Hormona producida por las células hipotalámicas y secretada hacia los capilares de la neurohipófisis; estimula las contracciones del músculo liso uterino o mamario en la mujer y no tiene función conocida en los varones.

pabellón auricular: Porción expandida y que se proyecta del oído externo alrededor del meato auditivo externo.
paladar: Tabique horizontal que divide la cavidad oral de la nasal y la nasofaringe; se puede subdividir en paladar anterior óseo (duro) y posterior carnoso (blando).
paladar blando: Extensión posterior carnosa del paladar duro, que separa la nasofaringe de la cavidad oral.
paladar duro: Techo óseo de la cavidad oral, formado por los huesos maxilar y palatinos.
palatino: Relativo al paladar.
palpar: Explorar mediante el tacto.
palpebral: Relativo a los párpados.
páncreas: Órgano digestivo constituido por tejidos endocrinos y exocrinos; la parte exocrina secreta jugo pancreático y la endocrina, hormonas, como insulina y glucagón.
pancreatitis: Inflamación del páncreas.
papila caliciforme: Una de las grandes papilas a modo de cáliz localizadas en el dorso de la lengua y que forman una V que separa el cuerpo de la lengua de su raíz.
papila duodenal: Proyección cónica en la superficie interna del duodeno que contiene la desembocadura de la ampolla duodenal.
papilas filiformes: Proyecciones cónicas delgadas desde la superficie dorsal de los dos tercios anteriores de la lengua.
papilas: Proyección cónica pequeña.
papilas fungiformes: Papilas a modo de hongos que se localizan en las superficies dorsal y dorsolateral de la lengua.
parálisis: Pérdida del control motor voluntario sobre una parte del cuerpo.
parálisis cerebral: Trastorno crónico derivado de las lesiones de áreas motoras del encéfalo durante el desarrollo o el parto.
paraplejía: Parálisis de los miembros superiores.
parasagital: Corte o plano que se orienta paralelo al plano sagital medio, pero sin atravesar la línea media.
parénquima: Células de un tejido u órgano responsables de realizar su actividad funcional.
parestesia: Alteración sensitiva que determina una sensación de hormigueo.
parietal: Relativo a la pared corporal o capa externa.
parte distal: Porción anterior de mayor tamaño de la adenohipófisis o lóbulo anterior de la hipófisis.
parte intermedia: División de la adenohipófisis inmediatamente adyacente a la neurohipófisis y el infundíbulo.
parte nerviosa o neurohipófisis: Parte posterior de la hipófisis.
parto: Nacimiento del niño.
patógeno: Productor de enfermedad.
patólogo: Médico especializado en la identificación de las enfermedades según los cambios estructurales y funcionales en los tejidos y órganos.
pecho: Tórax.
pedicelo: Prolongación delgada de un podocito que forma parte del aparato de filtración del glomérulo renal.
pedículos: Gruesas protrusiones óseas que conectan el cuerpo vertebral con las apófisis articulares y espinosas.
pedio: Relativo al pie.
pedúnculo cerebral: Masa de fibras nerviosas de la superficie ventrolateral del mesencéfalo; contiene vías ascendentes que terminan en el tálamo y vías descendentes que se originan en los hemisferios cerebrales.
pelo: Filamento de queratina producido por las células epiteliales del folículo piloso.
pelvis: Complejo óseo creado por las articulaciones entre los coxales, el sacro y el cóccix.
pene: Componente de los genitales externos masculinos; órgano de la cópula que rodea a la uretra y sirve para introducir el semen dentro de la vagina femenina.
pepsina: Enzima proteolítica secretada por las células principales de las glándulas gástricas del estómago.
pepsinógeno: Proenzima inactiva que se secreta por las células principales de las fositas gástricas; tras su secreción se convierte en la enzima proteolítica pepsina.
peptidasas: Enzimas que rompen los enlaces peptídicos y liberan aminoácidos.
péptido natriurético auricular: Hormona producida por cardiocitos auriculares especializados cuando son distendidos por un retorno venoso anormalmente aumentado; induce la pérdida de líquido y reducción de la presión arterial y el retorno venoso.
perfusión: Flujo de sangre a través de un tejido.
pericardio: Saco fibroso que rodea al corazón y cuyo revestimiento interno seroso se continúa del epicardio.
pericarditis: Inflamación del pericardio.
pericarion: Citoplasma que rodea al núcleo en el soma de una célula nerviosa. Llamado también *cuerpo de la célula nerviosa.*
pericondrio: Capa que rodea al cartílago, que consta de una capa fibrosa externa y otra celular interna.
perilinfa: Líquido de composición similar al líquido cefalorraquídeo, que se localiza en los espacios entre el laberinto óseo y membranoso del oído interno.
perimisio: Capa de tejido conjuntivo que separa los fascículos adyacentes dentro de un músculo estriado.
periné: Suelo de la pelvis y estructuras asociadas.
perineuro: Tabique de tejido conjuntivo que separa los haces adyacentes de fibras nerviosas dentro de un nervio periférico.
período refractario: Período que va desde el inicio de un potencial de acción a la recuperación del potencial de reposo normal; durante este período la membrana no responde a estimulación en condiciones normales.
periostio: Capa que rodea al hueso, constituida por una región externa fibrosa y otra celular interna.
peristaltismo: Onda de contracciones del músculo liso que propulsa el material a lo largo del eje de un tubo, como el aparato digestivo, los uréteres o el conducto deferente.
peristaltismo en masa: Contracción peristáltica potente que desplaza el material fecal por el colon y lo lleva hasta el recto.
peritoneo: Membrana serosa que reviste la cavidad peritoneal (abdominopélvica).
peritonitis: Inflamación del peritoneo.
permeabilidad: Facilidad con la que los materiales disueltos pueden atravesar una membrana; si esta es totalmente permeable, cualquier molécula podrá atravesarla; si es impermeable, ninguna lo conseguirá; la mayor parte de las membranas biológicas muestran una permeabilidad selectiva.
peroné: Hueso lateral y relativamente pequeño de la parte inferior de la pierna.
peroxisoma: Vesícula membranosa que contiene enzimas que degradan el peróxido de hidrógeno (H_2O_2).
peso molecular: Suma de los pesos atómicos de los átomos de una molécula.
petroso: Como la piedra; se suele emplear para aludir a la parte engrosada del hueso temporal que rodea al oído interno.
pezón: Proyección epitelial elevada en la superficie de la mama, que contiene las desembocaduras de los senos galactóforos.
pH: Exponente negativo de la concentración de iones hidrógeno en moles por litro.
piamadre: Delicada capa interna de las meninges que se encuentra en contacto directo con el tejido neural del SNC.
pielograma: Imagen radiológica de los riñones y uréteres.
pielonefritis: Inflamación de los riñones.
pigmento: Compuesto con un color característico.
pilas *(rouleaux):* Pila de eritrocitos.
piloerección: Efecto de «piel de gallina» producido por la contracción de los músculos erectores del vello de la piel.
píloro: Región gástrica entre el cuerpo del estómago y el duodeno; incluye el esfínter pilórico.
pinealocitos: Células secretoras de la glándula pineal.
pinocitosis: Introducción de líquidos en el citoplasma de la célula mediante su inclusión en unas vesículas membranosas en la superficie celular.
pirexia: Fiebre.
pirimidina: Compuesto N con una estructura en forma de anillo; incluye citosina, timina y uracilo, bases nitrogenadas frecuentes en los ácidos nucleicos.
placas de Peyer: *Véase* **nódulos linfáticos agregados.**
placenta: Estructura compleja de la pared uterina que permite la difusión entre los sistemas circulatorios fetal y materno.
placentación: Formación de una placenta funcional tras la implantación de un blastocisto en el endometrio.
plano frontal: Plano de corte que divide el cuerpo en las mitades anterior y posterior.
plano medio sagital: Plano que atraviesa la línea corporal media y divide el cuerpo en mitad derecha e izquierda.
plano sagital: Plano de corte que divide el cuerpo en mitades derecha e izquierda.
planta: Superficie inferior del pie.
plantar: Relativo a la planta del pie.
plaquetas: Pequeñas colecciones de citoplasma que contienen enzimas importantes en la respuesta de la coagulación; se producen en la médula ósea a partir de células llamadas **megacariocitos.**
plasma: Sustancia fundamental líquida de la sangre completa; lo que queda tras extraer las células de una muestra de sangre completa.
pleura: Membrana serosa que recubre las cavidades pleurales.
pleuritis: Inflamación de la pleura.
plexo: Red compleja de nervios periféricos entrelazados o de vasos sanguíneos.
plexo braquial: Red formada por las ramas de los nervios raquídeos C_5-T_1 en su trayecto para inervar el miembro superior.
plexo coroideo: Complejo vascular situado en el techo del tercer y cuarto ventrículos cerebrales, responsable de la producción del LCR.
plexo mientérico: Neuronas parasimpáticas motoras y fibras posganglionares simpáticas localizadas entre la capa circular y longitudinal de la muscular externa.

pliegue: Repliegue transversal permanente en la pared del intestino delgado.
pliegues vestibulares: Pliegues mucosos en las paredes de la laringe, que no intervienen en la producción del sonido; cuerdas vocales falsas.
podocito: Célula cuyas prolongaciones rodean a los capilares glomerulares y ayudan al proceso de filtración.
policitemia: Hematocritos inusualmente altos por excesiva presencia de elementos formados, en especial, glóbulos rojos.
polimorfo: Leucocito polimorfo; neutrófilo.
polipéptido: Cadena de aminoácidos que se mantiene unida por enlaces peptídicos; las que contienen más de 100 péptidos se llaman proteínas.
polisacárido: Azúcar complejo, como el glucógeno y el almidón.
poliuria: Producción excesiva de orina.
pollex: Dedo pulgar.
poplíteo: Relativo a la parte dorsal de la rodilla.
porfirinas: Moléculas de forma anular que constituyen la base de importantes pigmentos respiratorios y metabólicos, entre otros el hemo y los citocromos.
porta hepática: Región del mesenterio entre el duodeno y el hígado que alberga la arteria hepática, la vena porta hepática y el conducto colédoco.
posición anatómica: Posición de referencia anatómica en la que el cuerpo se visualiza desde su superficie anterior con las palmas orientadas hacia arriba; supino.
posterior: Hacia la espalda; dorsal.
potencial de acción: Cambio que se conduce del potencial transmembrana de las células excitables, que se inicia con un cambio en la permeabilidad de la membrana a los iones de sodio; *véase* **impulso nervioso.**
potencial de reposo: Potencial transmembrana de una célula normal en condiciones homeostáticas normales.
potencial transmembrana: Diferencia de potencial, en milovoltios, medida a través de la membrana celular; diferencia de potencial generada por la distribución irregular de los iones positivos y negativos a los lados de la membrana celular.
premolares: Bicúspides; dientes con superficies oclusales aplanadas localizados anteriores a los dientes molares.
prepucio: Pliegue laxo de piel que rodea al glande (varones) y el clítoris (mujeres).
presbicia: Mala visión de cerca; incapacidad de acomodarse a la visión cercana.
presión arterial: Fuerza que se ejerce contra las paredes vasculares por la sangre, como consecuencia del empuje generado por la contracción cardíaca y la elasticidad de las paredes vasculares. En general, se mide en una de las arterias musculares y la presión arterial sistólica se mide durante la sístole ventricular y, la diastólica, durante la diástole ventricular.
presión diastólica: Presión medida en las paredes de una arteria muscular cuando el ventrículo izquierdo se encuentra en la diástole.
presión hidrostática: Presión del líquido.
presión intraocular: Presión hidrostática ejercida por el humor acuoso del ojo.
presión intrapleural: Presión medida en una cavidad pleural; llamada también presión intratorácica.
presión intrapulmonar: Presión medida dentro del alvéolo; llamada también presión intraalveolar.
presión osmótica: Fuerza del desplazamiento osmótico del agua; presión que se tendría que aplicar para evitar el desplazamiento osmótico a través de una membrana.
presión sistólica: Presión arterial máxima medida durante la sístole ventricular.
primera regla: Primer período menstrual que se suele producir en la pubertad.
proenzima: Enzima inactiva secretada por una célula epitelial.
profase: Fase inicial de la mitosis, que se caracteriza por la aparición de los cromosomas, degradación de la membrana nuclear y formación del huso mitótico.
progestágenos: Hormonas esteroideas relacionadas estructuralmente con el colesterol.
progesterona: Gestágeno más importante secretado por el cuerpo lúteo tras la ovulación.
prolactina: Hormona que estimula el desarrollo funcional de la glándula mamaria en la mujer; secretada por el lóbulo anterior de la hipófisis.
prolapso: Descenso o protrusión anormal de una parte de un órgano, como la vagina o el canal anorrectal.
pronación: Rotación del antebrazo que hace que la palma mire en sentido posterior.
pronóstico: Predicción sobre la posibilidad de recuperación o la evolución temporal tras una enfermedad específica.
pronúcleos: Núcleo del óvulo o el espermatozoide aumentado de tamaño que se forma tras la fecundación y antes de la anfimixis.
properdina: Factor del complemento que prolonga y potencia la unión del complemento independiente de los anticuerpos a las paredes de las células bacterianas.
propiocepción: Conciencia de las posiciones de los huesos, articulaciones y músculos.
prosencéfalo: Cerebro.
prostaglandinas: Lipoide secretado por una célula que altera las actividades metabólicas o sensibilidades de las células adyacentes; se denominan a veces *hormonas locales*.
próstata: Glándula accesoria del aparato reproductor masculino que aporta aproximadamente un tercio del volumen del semen.
prostatectomía: Resección quirúrgica de la próstata.
prostatitis: Inflamación de la próstata.
proteasa: *Véase* **proteinasa.**
proteína: Gran polipéptido que tiene una estructura compleja.
proteínas globulares: Proteínas cuya estructura terciaria las hace redondeadas y compactas.
proteinasa: Enzima que degrada las proteínas en péptidos y aminoácidos.
proteinuria: Cantidades anómalas de proteínas en la orina.
proteoglucano: Compuesto que contiene un complejo de polisacáridos grande unido a una proteína relativamente pequeña; ejemplos son el ácido hialurónico y la condroitina sulfato.
prótesis: Sustituto artificial de una parte del cuerpo.
protones: Partícula fundamental que tiene una carga positiva.
protracción: Movimiento hacia delante en el plano horizontal.
protrombina: Proenzima circulante de la vía común del sistema de la coagulación; se convierte en trombina por la enzima tromboplastina.
protuberancia: Parte del metencéfalo anterior al cerebelo.
proximal: Hacia la base de inserción de un órgano o estructura.
prueba de Papanicolau: Prueba para detectar tumores malignos en el aparato reproductor femenino, en especial en el cuello del útero y el útero.
prurito: Picor.
psoriasis: Trastorno cutáneo caracterizado por una producción excesiva de queratina y la formación de placas descamativas secas en la superficie corporal.
pubertad: Período de crecimiento rápido, maduración sexual y aparición de los caracteres sexuales secundarios que suele suceder a los 10-15 años.
pubis: Componente anterior e inferior del coxal.
pudendo: Genitales externos.
pulmones: Órganos pares para la respiración, localizados en las cavidades pleurales derecha e izquierda.
pulpitis: Inflamación de los tejidos de la cavidad pulpar.
puntuación de Apgar: Prueba empleada para valorar el estado neurológico de los neonatos.
pupila: Apertura en el centro del iris a través de la cual entra la luz en el ojo.
purina: Compuesto N con una estructura anular; ejemplos son la adenina y la guanina, dos bases nitrogenadas frecuentes en los ácidos nucleicos.
pus: Acumulación de restos, líquido, células muertas o moribundas y tejido necrótico.
putamen: Núcleo talámico implicado en la integración de la información sensitiva antes de su proyección hacia los hemisferios cerebrales.
queratina: Proteína fibrosa resistente que forma parte de las uñas, los pelos, los callos y la superficie tegumentaria en general.
queratinización: Producción de queratina por las células epiteliales.
queratinizado: Que contiene grandes cantidades de queratina.
queratohialina: Proteína situada dentro de los queratinocitos en maduración.
quiasma óptico: Punto de intersección de los nervios ópticos.
quilífero: Terminal linfática dentro de una vellosidad intestinal.
quilomicrones: Gotículas relativamente grandes que pueden contener triglicéridos, fosfolípidos y colesterol asociados a proteínas; se sintetizan y liberan por las células intestinales y son transportadas a la sangre venosa por el sistema linfático.
quimiorrecepción: Detección de las alteraciones en las concentraciones de compuestos o gases disueltos.
quimiotaxis: Atracción de las células fagocíticas hacia la fuente de sustancias químicas anormales en los líquidos tisulares.
quimo: Mezcla semilíquida de alimento ingerido y secreciones digestivas presente en el estómago durante la progresión de la digestión.
quimotripsina: Proteasa presente en el intestino delgado.
quimotripsinógeno: Proenzima inactiva secretada por el páncreas que posteriormente se convierte en quimotripsina.
quiste: Cápsula fibrosa que contiene líquido u otro material.
radiodensidad: Resistencia relativa al paso de los rayos X.
radioopaco: Con una densidad radiológica relativamente alta.
rafe: Dique.
raíz pilosa: Estructura cónica engrosada constituida por una papila de tejido conjuntivo y la matriz que la cubre; capa de células epiteliales que produce el tallo del pelo.
rama: Ramo.
ramas del haz: Células de conducción especializadas en los ventrículos que transportan el estímulo contráctil desde el haz de His a las fibras de Purkinje.
ramo gris: Haz de fibras nerviosas simpáticas posganglionares que van a un nervio raquídeo para su distribución hacia los efectores de la pared corporal, la piel y las extremidades.
ramos blancos: Haz nervioso que contiene los axones preganglionares mielinizados de las motoneuronas simpáticas en su trayecto hacia la cadena simpática o un ganglio colateral.
ramos comunicantes: Haces de axones que unen los nervios raquídeos con los ganglios de las cadenas simpáticas.
rampa media: Cámara central rellena de endolinfa del oído interno; *véase* **conducto coclear.**
rampa timpánica: Cámara rellena de perilinfa del oído interno situada por debajo de la membrana basal; los cambios de presión que se producen en ella distorsionan la ventana redonda.
rampa vestibular: Cámara rellena de perilinfa del oído interno situada por encima de la membrana basal; los cambios de presión que se producen en ella distorsionan la ventana redonda.
reacción de descomposición: Reacción química que rompe una molécula en fragmentos de menor tamaño.
reanimación cardiopulmonar: Método de mantener de forma artificial la respiración y la función circulatoria.
receptores alfa: Receptores de la membrana sensibles a la noradrenalina o adrenalina; la estimulación suele activar la célula diana.
receptores beta: Receptores de la membrana sensibles a la adrenalina; la estimulación puede ocasionar una excitación o inhibición de la célula diana.

receptores de estiramiento: Receptores sensitivos que responden a la distensión de los tejidos que los rodean.
receptores muscarínicos: Receptores de la membrana sensibles a acetilcolina (ACh) y muscarina, toxina elaborada por determinados hongos; presentes en todas las uniones neuroefectoras parasimpáticas y en unas pocas uniones de tipo simpático.
receptores nicotínicos: Receptores de ACh presentes en las superficies de las células ganglionares simpáticas y parasimpáticos, y que responde al compuesto nicotina.
recto: Últimos 15 cm del aparato digestivo; derecho.
recuento diferencial: Determinación de la abundancia relativa de cada tipo de leucocito a partir de una muestra aleatoria de 100 leucocitos.
reducción: Ganancia de átomos de hidrógeno o electrones o pérdida de una molécula de oxígeno.
reflejo: Respuesta rápida y automática frente a un estímulo.
reflejo aórtico: Reflejo barorreceptor que se activa por el aumento de las presiones aórticas; condiciona una reducción del gasto cardíaco, con disminución de la presión sistémica.
reflejo barorreceptor: Cambio reflejo de la actividad cardíaca en respuesta a cambios de la presión arterial.
reflejo contralateral: Reflejo que afecta al lado del cuerpo opuesto al estímulo.
reflejo enterogástrico: Inhibición refleja de la secreción gástrica iniciada por la llegada del quimo ácido al intestino delgado.
reflejo flexor: Contracción refleja de los músculos flexores de un miembro en respuesta a un estímulo desagradable.
reflejo gastroentérico: Aumento del peristaltismo en el intestino delgado, que se activa por la entrada del alimento en el estómago.
reflejo gastroileal: Movimientos peristálticos que empujan el material desde el íleon hacia el colon y que se activa por la entrada del alimento en el estómago.
reflejo de insuflación: Reflejo mediado por el nervio vago que impide una sobreexpansión de los pulmones.
reflejo intersegmentario: Reflejo en el que participan varios segmentos de la médula espinal.
reflejo en masa: Hiperreflexia en una zona inervada por los segmentos de la médula espinal distales a una zona de lesión.
reflejo monosináptico: Reflejo en el cual los aferentes sensitivos establecen sinapsis de forma directa con los eferentes motores.
reflejo polisináptico: Reflejo con interneuronas interpuestas entre las fibras sensitivas y las motoneuronas.
reflejo del seno carotídeo: Cambios reflejos en la presión arterial que mantiene las presiones homeostáticas en el seno carotídeo, estabilizando el flujo sanguíneo al cerebro.
refracción: Inclinación de los rayos luminosos al pasar de un medio a otro.
región inguinal: Áreas situada cerca de la unión entre el tronco y los muslos que alberga los genitales externos.
relaxina: Hormona que afloja la sínfisis púbica; hormona secretada por la placenta.
renal: Relativo a los riñones.
renina: Enzima liberada por las células yuxtaglomerulares cuando la presión arterial o la Po_2 renales disminuyen; convierte el angiotensinógeno en angiotensina I.
rennina: Enzima gástrica que degrada las proteínas de la leche.
replicación: Duplicación.
repolarización: Desplazamiento del potencial transmembrana que se aleja de los valores positivos en milivoltios (mV) y se aproximan al potencial de reposo.
reserva espiratoria: Cantidad de aire adicional que se puede introducir de forma voluntaria en el aparato respiratorio después de una respiración de volumen corriente normal.
reserva inspiratoria: Cantidad máxima de aire que se puede introducir a los pulmones por encima del volumen corriente normal.
respiración: Intercambio de gases entre las células vivas y el entorno; incluye la ventilación pulmonar, la respiración externa, la respiración interna y la respiración celular.
respiración interna: Difusión de los gases entre la sangre y el líquido intersticial.
respuesta de la coagulación: Conjunto de acontecimientos necesarios para la formación de un coágulo.
respuesta fásica: Patrón de respuesta a la estimulación por las neuronas sensitivas, que está inactivo en condiciones normales; la estimulación produce un brote de actividad neural que termina cuando el estímulo se detiene o cambia de intensidad.
rete: Red entrelazada de vasos sanguíneos o vías.
retículo endoplásmico: Red de canales membranosos que se encuentra en el citoplasma de la célula y actúa en el transporte intracelular, la síntesis, almacenamiento, empaquetado y secreción.
retículo endoplásmico rugoso (RER): Orgánulo membranoso que es el lugar de la síntesis y almacenamiento de proteínas, lípidos y carbohidratos.
reticulocitos: Último estadio de la maduración de los eritrocitos; normalmente son los glóbulos rojos más jóvenes que existen en la sangre.
retina: Capa más interna del ojo, que reviste la cámara vítrea; llamada también túnica neural.
retináculo extensor: Engrosamiento de la fascia del antebrazo en la muñeca o la pierna a nivel del tobillo, que forma una banda de tejido conjuntivo denso que mantiene en su lugar los tendones de los músculos extensores.
retineno: Pigmento visual derivado de la vitamina A.
retracción: Movimiento en dirección posterior en el plano horizontal.
retroalimentación negativa: Mecanismo corrector que se contrapone o evita una variación de los límites normales.
retroalimentación positiva: Mecanismo que aumenta una desviación respecto de los límites normales tras un estímulo inicial.
retroflexión: Inclinación posterior del útero sin importancia clínica.
retroperitoneal: Situado por detrás o fuera de la cavidad peritoneal.
reumatismo: Trastorno caracterizado por dolor en músculos, tendones, huesos y articulaciones.
reverberación: Retroalimentación positiva en una cadena de neuronas, de forma que sigue activa tras su estimulación.
ribosoma: Orgánulo constituido por ARNr y proteínas, fundamental para la traducción del ARNm y la síntesis de proteínas.
rigidez cadavérica: Contracción muscular prolongada y rigidez que se producen tras la muerte, como consecuencia de una liberación de iones calcio del RS y el agotamiento de las reservas de ATP citoplasmáticas.
riñón: Componente del aparato urinario; órgano que actúa para la regulación de la composición plasmática, incluida la excreción de desechos y el mantenimiento del equilibrio hidroelectrolítico normal.
rizotomía: Corte quirúrgico de la raíz dorsal que se suele realizar para aliviar el dolor.
rodete *(labrum):* Labio o ribete.
rodopsina: Pigmento visual presente en los discos de membrana de los segmentos distales de los bastones.
rostral: Hacia la nariz; se emplea para aludir a la posición relativa dentro del cráneo.
rótula: Hueso sesamoideo en la rodilla.
rugosidades: Pliegues mucosos en el revestimiento del estómago vacío que desaparecen cuando se produce la distensión gástrica.
saco alveolar: Cámara rellena de aire que se lo aporta a varios alvéolos.
saco nasolagrimal: Cámara que recibe las lágrimas de los conductos nasolagrimales.
saco vitelino: Una de las tres membranas extraembrionarias constituida por una capa interna de endodermo y una externa de mesodermo.
sáculo: Parte del aparato vestibular del oído interno, responsable del equilibrio estático.
sales biliares: Derivados esteroideos de la bilis, responsables de la emulsificación de los lípidos ingeridos.
sarcolema: Membrana celular de la célula muscular.
sarcoma: Tumor de los tejidos conjuntivos.
sarcómero: Unidad contráctil de menor tamaño de una célula muscular estriada.
sarcoplasma: Citoplasma de la célula muscular.
Schlemm, canal: Vía que lleva el humor acuoso desde la cámara anterior ocular a la circulación venosa.
sebo: Secreción cerosa que cubre las superficies del pelo.
secreción apocrina: Tipo de secreción en el que las células glandulares pierden partes de sus citoplasmas.
secreción holocrina: Forma de secreción exocrina en la que la célula secretora se llena de vesículas y después se rompe.
secretina: Hormona duodenal que estimula la secreción de tampones pancreáticos e inhibe la actividad gástrica.
segmento inicial: Porción proximal de un axón, adyacente al botón axónico, en la que aparece por vez primera el potencial de acción.
semen: Eyaculado líquido que contiene espermatozoides y las secreciones de las glándulas accesorias del aparato reproductor masculino.
senescencia: Envejecimiento.
seno: Cámara o agujero en un tejido; vena dilatada grande.
seno carotídeo: Segmento dilatado de la arteria carótida interna en cuya pared se encuentran barorreceptores sensibles a los cambios de la presión arterial.
seno galactóforo: Porción expandida de un conducto lactífero adyacente al pezón de la mama.
seno mastoideo: Espacios rellenos de aire en la apófisis mastoides del hueso temporal.
seno maxilar: Uno de los senos paranasales; cámara llena de aire revestida por epitelio de tipo respiratorio, localizada en el maxilar superior y que se abre a la cavidad nasal.
senos paranasales: Cámaras óseas revestidas por epitelio respiratorio que desembocan en la cavidad nasal; incluyen los senos etmoidales, frontales, esfenoidales y maxilares.
separación: Divisiones mitóticas que se producen tras la fecundación del óvulo y que culminan en la formación de un blastocisto.
serosa: *Véase* **membrana serosa.**
serotonina: Neurotransmisor del SNC; compuesto que potencia la inflamación, liberado por los mastocitos y basófilos activados.
seudópodos: Extensiones citoplasmáticas temporales de las células fagocíticas o móviles.
SIDA: *Véase* **síndrome de inmunodeficiencia adquirida.**
signo: Término clínico para la evidencia objetiva de que existe una enfermedad.
signo de Babinski: Dorsiflexión refleja de los dedos de los pies tras golpear su superficie plantar; el reflejo positivo (signo de Babinski) es normal hasta 1,5 años de edad, pero posteriormente un reflejo positivo indica lesiones en las vías descendentes.
simpatectomía: Sección de la inervación simpática de una región.
sinapsis: Lugar de comunicación entre una célula nerviosa y una célula de otro tipo; cuando la otra célula no es una neurona, se denomina con frecuencia *unión neuroefectora*.
sinapsis colinérgica: Sinapsis en la que la membrana presináptica libera ACh tras su estimulación.
sinapsis neuromuscular: Tipo específico de unión neuroefectora. Llamada también *unión neuromuscular.*
sinapsis no vesicular: Sinapsis entre neuronas del SNC y SNP; llamada también *sinapsis eléctricas*.
sinapsis vesicular: Sinapsis neuronal más frecuente. Se denomina también *sinapsis química*.

sinartrosis: Articulación que no permite el movimiento relativo entre los elementos que se articulan.
sincitio: Masa de citoplasma multinucleada, que se genera por fusión de las células o mitosis repetidas sin citocinesis.
sincondrosis: Sinartrosis cartilaginosa, como la articulación existente entre la epífisis y diáfisis de un hueso en crecimiento.
síncope: Pérdida de conciencia súbita y transitoria; vahído.
sindesmosis: Anfiartrosis fibrosa.
síndrome: Conjunto determinado de síntomas que aparecen juntos.
síndrome de Down: Alteración genética ocasionada por la existencia de tres copias del cromosoma 21; los pacientes con este proceso muestran deficiencias intelectuales y físicas características.
síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA): Trastorno causado por el **virus de la inmunodeficiencia humana (VIH),** caracterizado por la destrucción de los linfocitos T colaboradores con la consiguiente alteración grave de la respuesta inmunitaria.
sinéresis: Retracción del coágulo.
sinergista: Músculo que colabora a un músculo encargado del movimiento primario a realizar su acción principal.
sínfisis: Anfiartrosis fibrosa, como la que existe entre las vértebras adyacentes o entre los huesos púbicos en el coxal.
sínfisis del pubis: Anfiartrosis fibrocartilaginosa entre los huesos púbicos del coxal.
sinóstosis: Sinartrosis formada por la fusión de los elementos que se articulan.
síntesis: Producción, anabolismo.
síntoma: Término clínico para una alteración de la función secundaria a la existencia de enfermedad.
sinusitis: Inflamación de un seno nasal.
sinusoide: Red extensa de vasos presentes en el hígado, corteza suprarrenal, bazo y páncreas; estructura histológica parecida a los capilares.
sistema: Grupo de órganos que interactúan para realizar una o más funciones.
sistema circulatorio: Red de vasos sanguíneos y linfáticos que participan en la circulación y recirculación del líquido extracelular.
sistema endocrino: Glándulas endocrinas del cuerpo.
sistema de Havers: *Véase* **osteona.**
sistema límbico: Grupo de núcleos y centros del cerebro y el diencéfalo que participan en los estados emocionales, los recuerdos y los impulsos conductuales.
sistema nervioso autónomo (SNA): Centros, núcleos, vías, ganglios y nervios implicados en la regulación inconsciente de las funciones viscerales; incluye elementos del SNC y el SNP.
sistema nervioso central (SNC): El encéfalo y la médula espinal.
sistema nervioso periférico (SNP): Todo el tejido neural externo al SNC.
sistema nervioso somático: Sistema de fibras nerviosas que se dirigen desde el sistema nervioso central a los músculos estriados.
sistema portal hipofisario: Red de vasos que llevan sangre desde los capilares del hipotálamo a los capilares de la adenohipófisis (lóbulo anterior hipofisario).
sístole: Período de contracción cardíaca.
solución: Líquido que contiene materiales disueltos.
soluto: Material disuelto en una solución.
soma: Cuerpo.
somático: Relativo al cuerpo.
somatomedinas: Compuestos que estimulan el crecimiento del tejido, liberados en el hígado tras la secreción de GH.
somatostatina: GH-IH, una hormona reguladora hipotalámica que inhibe la secreción de GH en la adenohipófisis.
subclavia: Relacionada con la región por debajo de la clavícula.
subluxación: Luxación parcial de una articulación.
submucosa: Región situada entre la muscular de la mucosa y la muscular externa.
suero: Plasma de la sangre al que se extraen los factores de la coagulación.
sumación: Suma temporal o espacial de los estímulos.
superficie oclusal: Superficies opuestas de los dientes que entran en contacto durante el procesamiento del alimento.
superior: Referencia direccional que significa arriba.
supinación: Rotación del antebrazo de forma que la palma mire en sentido anterior.
supino: Tumbado boca arriba, con las palmas mirando en sentido anterior.
surco: Hendidura.
surco central: Hendidura en la superficie de un hemisferio cerebral, entre las áreas sensitiva y motora primarias de la corteza.
surfactante: Secreción lipídica que reviste las superficies alveolares y evita su colapso.
sustancia blanca: Regiones dentro del SNC dominadas por los axones mielinizados.
sustancia cromatófila: Los ribosomas, el Golgi, el RER y las mitocondrias del cuerpo de la célula nerviosa o pericarion de una célula nerviosa típica; se llama también *cuerpos de Nissl.*
sustancia gris: Áreas del sistema nervioso central en las que predominan los cuerpos neuronales, las células gliales y los axones amielínicos.
sustancia negra: Núcleo en el mesencéfalo, responsable del control mediante retroalimentación negativa de los núcleos basales.
sustrato: Participante (producto o reactante) en una reacción catalizada por enzimas.
sutura: Articulación fibrosa entre los huesos planos del cráneo.
sutura lambdoidea: Articulación de tipo sinartrosis entre los huesos occipital y parietal del cráneo.
tabiques: Partes que subdividen a un órgano.
táctil: Relativo al sentido del tacto.
tálamo: Paredes del diencéfalo.
talasemia: Trastorno hereditario que afecta a la síntesis de hemoglobina y cursa con anemia.
tampón: Compuesto que estabiliza el pH de una solución al eliminar o liberar hidrogeniones.
taponamiento cardíaco: Compresión del corazón por la acumulación de líquido dentro de la cavidad pericárdica.
taquicardia: Frecuencia cardíaca anormalmente rápida.
tarso: Tobillo.
techo: Techo del mesencéfalo del encéfalo.
técnicas radiológicas: Métodos para visualizar las estructuras internas empleando diversas formas de energía de la radiación.
tegumento: La piel y los órganos asociados a ella (pelo, glándulas, receptores, etc.).
tejido: Colección de células especializadas y productos celulares que realizan una función específica.
tejido adiposo: Tejido conjuntivo laxo en el que predominan los adipocitos.
tejido cavernoso: Tejido eréctil que puede ingurgitarse con sangre; presente en el pene y el clítoris.
tejido cicatricial: Tejido colágeno denso que se forma en el lugar de una lesión.
tejido conjuntivo: Uno de los cuatro tipos fundamentales de tejido; representa un soporte estructural para el cuerpo, que estabiliza las posiciones relativas de los otros tipos de tejidos; incluye el tejido conjuntivo propiamente dicho, el cartílago, el hueso y la sangre; siempre contiene productos celulares, células y sustancia fundamental.
tejido conjuntivo laxo: Tejido conjuntivo laxo, que se distorsiona con facilidad y que contiene diversos tipos de fibras, población de células variadas y sustancia fundamental viscosa.
tejido muscular: Tejido caracterizado por la presencia de células con capacidad contráctil; incluye músculo estriado, cardíaco y liso.
tejido muscular estriado: Tejido contráctil dominado por fibras musculares estriadas; se caracteriza como músculo voluntario estriado.
tejido muscular liso: Tejido muscular presente en las paredes de muchos órganos viscerales; se caracteriza como músculo involuntario no estriado.
tejido muscular liso visceral: Tejido muscular liso que forma bandas o capas en las paredes de los órganos viscerales; puede que las células no estén inervadas y es frecuente que las capas muestren automatismo (contracciones rítmicas).
tejido óseo: Tejido conjuntivo fuerte que contiene células especializadas y una matriz mineralizada de fosfato cálcico y carbonato cálcico cristalinos.
tejidos colágenos: Tejidos conjuntivos densos en los que predominan las fibras de colágeno; incluye los tejidos conjuntivos regular denso e irregular denso.
telencéfalo: Encéfalo anterior o cerebro, que incluye los hemisferios cerebrales, la cápsula interna y los núcleos cerebrales.
telofase: Estadio final de la mitosis, que se caracteriza por la desaparición del huso mitótico, la reaparición de la membrana nuclear y la desaparición de los cromosomas con culminación de la citocinesis.
temporal: Relativo al tiempo (sumación temporal) o con las sienes (hueso temporal).
tendinitis: Inflamación dolorosa de un tendón.
tendón: Banda colágena que conecta un músculo estriado con un elemento del esqueleto.
tendón de Aquiles: Tendón calcáneo.
tendón calcáneo: Tendón grande que se inserta en el calcáneo; la tensión de este tendón produce la flexión plantar del piel; llamado también *tendón de Aquiles*.
tenias del colon: Tres bandas longitudinales de músculo liso en la muscular externa del colon.
teoría: Hipótesis que establece predicciones válidas, como se demuestra por las pruebas, que es demostrable, no afectada por sesgos y reproducible.
teoría de los filamentos deslizantes: Concepto de que el sarcómero se acorta cuando los filamentos finos y gruesos se deslizan uno respecto de los otros.
terapia: Tratamiento de una enfermedad.
teratógeno: Estímulo que provoca malformaciones congénitas.
teres: Redondo y largo.
terminal: Hacia el final.
termogenia: Producción de calor.
termografía: Técnica diagnóstica que consiste en la producción de una imagen con rayos infrarrojos.
termorrecepción: Sensibilidad ante los cambios de temperatura.
termorregulación: Mantenimiento homeostático de la temperatura corporal.
testículo criptorquídico: Testículo no descendido que se localiza en la cavidad abdominopélvica en lugar de estar dentro del escroto.
testículos: Gónadas masculinas, lugar en que se producen los gametos y se secretan las hormonas.
testosterona: Andrógeno principal elaborado por las células intersticiales del testículo.
tétanos: Contracción tetánica; se utiliza también para referirse a una situación patológica secundaria a la estimulación de las células musculares por las toxinas bacterianas.
tetrada: Cromosomas pares duplicados visibles al principio de la meiosis I.
tetrayodotironina: T_4 o tiroxina, una hormona tiroidea.
tibia: Hueso medial de gran tamaño de la pierna.
tienda del cerebelo: Tabique de duramadre que separa los hemisferios cerebrales del cerebelo.
timina: Pirimidina presente en el ADN.
timo: Órgano linfático, lugar en que se forman los linfocitos T.
timosina: Hormona tímica esencial para el desarrollo y diferenciación de los linfocitos T.
tiroglobulina: Globulina transportadora circulante que se une a las hormonas tiroideas.
tiroides: Glándula endocrina cuyos lóbulos se encuentran laterales al cartílago tiroides de la laringe.

tirón: Dolor y rigidez en un músculo distendido, que suele afectar al grupo del cuádriceps.
tiroxina: Hormona tiroidea (T_4).
tópico: Aplicado sobre la superficie del cuerpo.
trabécula: Tabique de tejido conjuntivo que subdivide un órgano.
trabéculas carnosas: Crestas musculares que se proyectan a partir de las paredes de los ventrículos cardíacos.
tracoma: Enfermedad infecciosa de la conjuntiva y la córnea.
tracto: Haz de axones dentro del SNC.
tracto espinocerebeloso: Vías ascendentes que transportan información sensitiva al cerebelo.
tracto olfativo: Tracto por el que se transmiten los impulsos nerviosos desde la retina entre el quiasma óptico y el tálamo.
tractos espinotalámicos: Vías ascendentes que aportan la sensibilidad del tacto poco localizado, la presión, el dolor, la vibración y la temperatura al encéfalo.
tractos tectoespinales: Vías extrapiramidales descendentes que transportan órdenes motoras involuntarias emitidas en los colículos.
tractos vestibuloespinales: Tractos descendentes del sistema extrapiramidal, que transportan órdenes motoras involuntarias emitidas por el núcleo vestibular para estabilizar la posición de la cabeza.
tractotomía: Corte quirúrgico de un tracto, que en ocasiones se realiza para aliviar el dolor.
traducción: Proceso de formación de péptidos usando las instrucciones recogidas en la hebra de ARNm.
transcripción: Codificación de las instrucciones genéticas en una hebra de ARNm.
transección: Cortar o seccionar en el plano transversal.
transfusión: Transferir sangre de un donante directamente en el torrente circulatorio de otra persona.
transporte activo: Absorción o excreción de solutos a través de la membrana celular dependiente de ATP.
transudado: Líquido que difunde a través de una membrana serosa y lubrica las superficies contrapuestas.
tráquea: Parte de la vía aérea que va desde la laringe a los bronquios.
traqueostomía: Apertura quirúrgica en la pared anterior de la tráquea para permitir el flujo de aire.
trastorno psicosomático: Situación fisiológica anómala secundaria a un origen psicológico.
tríada (células musculares): Combinación de un túbulo T y dos cisternas del retículo sarcoplásmico.
tríada hepática: Combinación de las ramas del conducto hepático, la arteria hepática y la vena porta hepática, que se localiza en cada una de las esquinas del lobulillo hepático.
triángulo anal: Subdivisión posterior del periné.
triglicérido: Lípido compuesto por una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos.
trígono: Región triangular de la vejiga limitada por los orificios de los uréteres y la entrada de la uretra.
tripsina: Una de las proteasas pancreáticas.
tripsinógeno: Proenzima inactiva secretada por el páncreas y que se convierte en tripsina en el duodeno.
trisomía: Presencia anómala de tres copias de un cromosoma; la trisomía 21 es la causa del síndrome de Down.
triyodotironina: T_3, una de las hormonas tiroideas.
trocánteres: Grandes apófisis cerca de la cabeza del fémur.
tróclea: Polea.
trofoblasto: Capa superficial del blastocisto que participa en la implantación, producción de hormonas y formación de la placenta.
trofoblasto sincitial: Capa de citoplasmas multinucleados que cubre el blastocisto; capa responsable de la erosión uterina y la implantación.
trombina: Enzima que convierte el fibrinógeno en fibrina.
trombo: Coágulo de sangre.
trombocitopenia: Recuento de plaquetas anormalmente bajo en la sangre circulante.
trombocitos: *Véase* **plaquetas.**
tromboembolia: Oclusión de un vaso por un coágulo sanguíneo que se suelta.
tromboplastina: Enzima que convierte la protrombina en trombina; enzima formada por las vías intrínseca y extrínseca de la coagulación.
trompa auditiva: Vía que conecta la nasofaringe con la cavidad del oído medio; llamada también *trompa de Eustaquio o trompa faringotimpánica*.
tronco: Regiones abdominopélvica y torácica.
tronco encefálico: El encéfalo menos el cerebro y el cerebelo.
troponina (tropomiosina): Proteínas de los filamentos finos que ocultan sus sitios activos cuando no existen iones calcio libres.
tubérculo: Elevación pequeña localizada sobre una superficie ósea.
tuberosidad: Elevación grande y rugosa en la superficie de un hueso.
tubo digestivo: Vía interna que se inicia en la boca y termina en el ano y que se reviste de una mucosa; se llama también tubo gastrointestinal.
tubulina: Subunidad proteica de los microtúbulos.
túbulo contorneado distal: Parte de una nefrona más cercana al túbulo y el conducto colectores; importante lugar para la secreción activa.
túbulo contorneado proximal: Parte de la nefrona entre la cápsula de Bowman y su asa; principal lugar de reabsorción activa a partir del filtrado.
túbulos T: Extensiones tubulares transversales del sarcolema que se extienden en la profundidad del sarcoplasma para contactar con las cisternas del retículo sarcoplásmico.
tumor: Masa tisular constituida por un crecimiento y replicación anormales de las células.
túnica: Capa o cubierta; en los vasos, la túnica externa es la capa más externa de fibras de tejido conjuntivo que estabiliza el vaso en su lugar, la túnica íntima es la capa más interna y comprende el endotelio más la membrana elástica subyacente; la túnica media es una capa intermedia que comprende colágeno, elastina y fibras de músculo liso en cantidades variables.
túnica fibrosa: Capa más externa del ojo, constituida por la esclera y la córnea.
úlcera: Área de descamación epitelial asociada a lesiones de los tejidos conjuntivos y vasos subyacentes.
úlcera por decúbito: Úlceras que se forman cuando la presión crónica interrumpe la circulación hacia una parte de la piel.
umbilical: Relativo al ombligo.
umbral: Potencial transmembrana a partir del cual se inicia un potencial de acción.
unidad motora: Todas las células musculares controladas por una sola motoneurona.
unión neuroefectora: Sinapsis entre una motoneurona y un efector periférico, como una célula muscular o glandular.
unión neuroglandular: Tipo específico de unión neuroefectora.
uniones en hendidura: Conexiones entre las células que permiten el acoplamiento eléctrico.
uña: Estructura queratinizada producida por las células epiteliales de la raíz ungueal.
uracilo: Una de las pirimidinas que caracterizan al ARN.
uraco: Ligamento umbilical medio.
uremia: Trastorno causado por una alteración de la función renal y que se caracteriza por la retención de desechos y la alteración de otros muchos sistemas orgánicos.
uréteres: Tubos musculares, revestidos por epitelio transicional, que transportan la orina desde la pelvis renal a la vejiga urinaria.
uretra: Tubo muscular que transporta la orina desde la vejiga al exterior.
uretritis: Inflamación de la uretra.
útero: Órgano muscular del aparato reproductor femenino en el que se produce la implantación, la formación de la placenta y el desarrollo fetal.
utrículo: Cámara más grande del aparato vestibular; contiene una mácula importante para el equilibrio estático.
úvea: Túnica vascular del ojo.
úvula: Extensión carnosa colgante del paladar blando.
vagina: Tubo muscular que se extiende desde el útero al vestíbulo.
válvula auriculoventricular: Una de las válvulas que impide el reflujo de sangre hacia las aurículas durante la sístole ventricular.
válvula ileocecal: Repliegue de mucosa que defiende la conexión entre el íleon y el ciego.
válvula mitral: Válvula AV izquierda o bicúspide del corazón.
válvula semilunar: Válvula tricuspídea que regula la salida de uno de los ventrículos cardíacos; incluye las válvulas aórtica y pulmonar.
válvula tricúspide: Válvula auriculoventricular derecha que evita el reflujo de la sangre hacia la aurícula derecha durante la sístole ventricular.
vasa vasorum: Vasos que irrigan las paredes de las arterias y venas de gran calibre.
vascular: Relativo a los vasos.
vascularidad: Vasos sanguíneos de un tejido.
vasoconstricción: Reducción del diámetro de las arteriolas por la contracción de los músculos lisos de la media de la pared vascular; acontecimiento que aumenta la resistencia periférica y que puede producirse como respuesta a factores locales, mediante la acción de hormonas o por la estimulación del centro vasomotor.
vasodilatación: Aumento del diámetro de las arteriolas por la relajación de los músculos lisos de la media de la pared vascular, acontecimiento que reduce la resistencia periférica y que puede producirse como respuesta a factores locales, mediante la acción de hormonas o por la menor estimulación del centro vasomotor.
vasomotilidad: Alteraciones en el patrón del flujo de la sangre por un lecho capilar en respuesta a cambios en el entorno local.
vejiga: Saco muscular que se distiende cuando se acumula líquido y cuya contracción expulsa este líquido en el momento adecuado; en general, se refiere a la vejiga urinaria.
vejiga automática: Micción refleja tras la estimulación de los receptores de distensión en la pared vesical; se describe en pacientes que han perdido el control motor de la mitad inferior de su cuerpo.
vejiga urinaria: Saco muscular distensible que almacena la orina antes de la micción.
vellosidad: Proyección delgada de la mucosa del intestino delgado.
vena: Vaso sanguíneo que lleva la sangre desde el lecho capilar al corazón.
vena cava inferior: Vena que transporta la sangre desde las regiones del cuerpo situadas por debajo del corazón a la aurícula derecha.
vena cava superior: Vena que transporta la sangre desde las regiones del cuerpo situadas por encima del corazón a la aurícula derecha.
vena porta hepática: Vaso que lleva la sangre de los capilares intestinales a los sinusoides hepáticos.
venas cavas: Principales venas que llevan la sangre sistémica hacia el corazón.
venas varicosas: Venas superficiales distendidas.
ventana oval: Apertura en el laberinto óseo en la que el estribo se ancla a la pared membranosa de la rampa vestibular.
ventana redonda: Agujero en el laberinto óseo del oído interno que expone la pared membranosa de la rampa timpánica al aire presente en la cavidad del oído medio.
ventilación: Entrada y salida de aire de los pulmones.
ventilación pulmonar: Entrada y salida de aire a los pulmones.
ventral: Relativo a la superficie anterior.
ventrículo: Una de las grandes cámaras musculares con capacidad de bombear del corazón, que propulsa la sangre hacia los circuitos pulmonar o sistémico.

ventrículo lateral: Cámara llena de líquido dentro de uno de los hemisferios cerebrales.
vénulas: Venas de pared delgada que reciben la sangre de los capilares.
vermis: Banda mediosagital de corteza neural en la superficie del cerebelo.
vértice: Punta afilada, en general de forma triangular y situada en el lado opuesto a una base amplia.
vértigo: Inestabilidad.
vesícula: Saco membranoso dentro del citoplasma de la célula.
vesícula biliar: Reservorio en forma de pera para la bilis que secreta el hígado.
vestíbulo: Cámara; en el oído interno, el término alude al utrículo, sáculo y conductos semicirculares; también alude a: 1) una región de los genitales externos femeninos; 2) el espacio dentro de la porción carnosa de la nariz situado entre las narinas externas y las narinas, y 3) el espacio entre los pliegues ventriculares y las cuerdas vocales de la laringe.
vía ascendente: Vía que transporta información desde la médula espinal al encéfalo.
vía común: En la coagulación, los acontecimientos que empiezan con la aparición de tromboplastina y culminan en la formación del coágulo.
vía extrínseca: Vía de la coagulación que se pone en marcha cuando se lesiona un vaso o los tejidos que lo rodean, y termina cuando se forma la tromboplastina tisular.
vías corticobulbares: Vías descendentes que transportan información/órdenes desde la corteza cerebral a los núcleos y centros del tronco del encéfalo.
vías corticoespinales: Vías descendentes que transportan órdenes motoras desde la corteza cerebrales a las astas grises anteriores de la médula espinal.
vías reticuloespinales: Vías o tractos descendentes que transmiten órdenes motoras involuntarias emitidas por neuronas de la formación reticular.
vías o tractos rubroespinales: Vías descendentes que transportan órdenes motoras involuntarias generadas en el núcleo rojo del mesencéfalo.
virus: Microorganismo patógeno.
virus de la inmunodeficiencia humana (VIH): Agente infeccioso responsable del **síndrome de inmunodeficidencia adquirida (SIDA).**
víscera: Órganos de la cavidad corporal ventral.
visceral: Relativo a las vísceras o sus cubiertas externas.
viscosidad: Resistencia al flujo mostrada por un líquido, dadas las interacciones moleculares en su interior.
viscoso: Denso.
vitamina: Compuesto orgánico esencial que actúa como coenzima en las reacciones enzimáticas vitales.
volumen corriente: Volumen de aire que entra y sale de los pulmones durante un ciclo respiratorio tranquilo.
volumen por minuto respiratorio: Cantidad de aire que entra y sale del aparato respiratorio cada minuto.
volumen residual: Cantidad de aire que queda en los pulmones tras la espiración forzada máxima.
voluntario: Controlado por los procesos de pensamiento conscientes.
vulva: Región pudenda femenina (genitales externos).
yeyuno: Porción media del intestino delgado.
yugal: Relativo a las mejillas.
yunque: Huesecillo auditivo central, situado entre el martillo y el estribo en la cavidad del oído medio.
Zeis, glándulas: Glándulas sebáceas grandes en los márgenes libres de los párpados.
zona fascicular: Región de la corteza suprarrenal responsable de la secreción de glucocorticoesteroides.
zona glomerular: Región de la corteza suprarrenal responsable de la secreción de mineralocorticoesteroides.
zona pelúcida: Región entre el ovocito en desarrollo y las células foliculares ováricas que lo rodean.
zona reticular: Zona de la corteza suprarrenal responsable de la secreción de andrógenos.

Créditos fotográficos

Visible Human Data por cortesía de la *Library of Medicine* y el *Visible Human Project.*

Capítulo 1

1.7 The New Yorker Collection 1990 Ed Fisher from cartoonbank.com. All Rights Reserved
1.9 Custom Medical Stock Photo, Inc.
1.13d Ralph T. Hutchings
1.15aL Omikron/Photo Researchers, Inc.
1.15aR AGFA/Photo Researchers, Inc.
1.15bL Photo Researchers, Inc.
1.15bR Custom Medical Stock Photo, Inc.
1.16b Frederic H. Martini, Inc.
1.16c CNSI/Photo Researchers, Inc.
1.16d Frederic H. Martini, Inc.
1.17a Philips Medical Systems
1.17b Alexander Tsiaras/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 2

2.1a Todd Derksen
2.1b David M. Phillips/Visuals Unlimited
2.1c Todd Derksen
2.7a M. Sahliwa/Visuals Unlimited
2.9b Fawcett, Hirikawa, Heuser/Photo Researchers, Inc.
2.9c M. Sahliwa/Visuals Unlimited
2.10a Fawcett, de Harven, Kalnins/Photo Researchers, Inc.
2.11a Frederic H. Martini, Inc.
2.12 CNRI/Photo Researchers, Inc.
2.13a Don W. Fawcett, M.D., Harvard Medical School
2.13b Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
2.15R Bollender & Don W. Fawcett/Visuals Unlimited
2.16 Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
2.17b Dr. Birgit H. Satir
2.22a,b Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.
2.22c James Solliday/Biological Photo Service
2.22d,e,f Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.
2.22g Centers for Disease Control and Prevention (CDC)

Capítulo 3

3.2b P. Motta/Custom Medical Stock Photo
3.3c C. P. Leblond and A. Rambourg, McGill University
3.4a Ward's Natural Science Establishment, Inc.
3.4b Frederic H. Martini, Inc.
3.5a Pearson Benjamin Cummings
3.5b Gregory N. Fuller, M. D. Anderson Cancer Center, Houston, TX
3.6a Frederic H. Martini, Inc.
3.6b Gregory N. Fuller, M. D. Anderson Cancer Center, Houston, TX
3.7a,b Frederic H. Martini, Inc.
3.8a S. Elem/Visuals Unlimited
3.8b Frederic H. Martini, Inc.
3.10 Carolina Biological Supply Company/Phototake
3.12b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
3.13a,b Project Masters, Inc./The Bergman Collection
3.14a Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
3.14b Frederic H. Martini, Inc.
3.14c Ward's Natural Science Establishment, Inc.
3.15a John D. Cunningham/Visuals Unlimited
3.15b Bruce Iverson/Visuals Unlimited
3.15c Frederic H. Martini, Inc.
3.17a Frederic H. Martini, Inc.
3.18a Robert Brons/Biological Photo Service
3.18b Photo Researchers, Inc.
3.18c Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.
3.19 Frederic H. Martini, Inc.
3.22a G. W. Willis, MD/Visuals Unlimited
3.22b Phototake NYC
3.22c Pearson Benjamin Cummings
3.23b Pearson Benjamin Cummings

Capítulo 4

4.3 John D. Cunningham/Visuals Unlimited
4.4b,c Frederic H. Martini, Inc.
4.5 R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
4.6 Pearson Benjamin Cummings
4.7a R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
4.7b David Scharf Photography
4.7c P. Motta/SPL/Photo Researchers, Inc.
4.9b Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.
4.10b John D. Cunningham/Visuals Unlimited
4.13; 4.14a,b Frederic H. Martini, Inc.
4.16 PhotoDisc/Getty Images
4.U01 Joe McNally/Getty Images
4.17 Custom Medical Stock Photo

Capítulo 5

5.1b R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
5.1c,d Pearson Benjamin Cummings
5.2d; 5.3a,b,c Ralph T. Hutchings
5.4c; 5.5 Frederic H. Martini, Inc.
5.6a,b Ralph T. Hutchings
5.7b Pearson Benjamin Cummings
5.8a,b Project Masters, Inc./The Bergman Collection
5.12a,b P. Motta/SPL/Photo Researchers, Inc.
5.U01; 5.U02 Southern Illinois University/Visuals Unlimited
5.U03 Frederic H. Martini, Inc.
5.U04 Southern Illinois University/Peter Arnold, Inc.
5.U05 Custom Medical Stock Photo, Inc.
5.U06 Scott Camazine/Photo Researchers, Inc.
5.U07 Frederic H. Martini, Inc.
5.U08 Southern Illinois University/Visuals Unlimited
5.U09 Project Master, Inc./The Bergman Collection

Capítulo 6

6.1b; 6.3a,b,c,d,e; 6.4; 6.5; 6.6a,b,c; 6.7a,b,c; 6.8a,c,d Ralph T. Hutchings
6.8b Michael J. Timmons
6.9a; 6.10a,c; 6.11b; 6.12a; 6.13b,c; 6.14a,b; 6.15; 6.16a,c; 6.17b Ralph T. Hutchings
6.18c Michael J. Timmons
6.18d; 6.19b Ralph T. Hutchings
6.19c Siemens Medical Systems, Inc.
6.20a Science Photo Library/Custom Medical Stock Photos, Inc.
6.20b National Medical Slide/Custom Medical Stock Photos, Inc.
6.20c Princess Margaret Rose Orthopaedic Hospital, Edinburgh, Scotland/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
6.22a,b,c,d; 6.23a,b,c,d,e; 6.24a,b,c,d; 6.25a,b; 6.26a,b,c; 6.27a,b,c,d Ralph T. Hutchings

Capítulo 7

7.1a,b; 7.2a Ralph T. Hutchings
7.2b Bates/Custom Medical Stock Photo, Inc.
7.3a,b; 7.4a; 7.5d,e,f; 7.6a,b,c,d; 7.7a,b,c,d,e,f; 7.8.a,b,c; 7.9a Ralph T. Hutchings
7.9b Custom Medical Stock Photo, Inc.
7.10a,b; 7.11a,b; 7.14a,b,c,d,e,f; 7.15a,b; 7.16a,b,c,d; 7.17b; 7.18a,b Ralph T. Hutchings

Capítulo 8

8.3aB,bB,cL,cR,d; 8.4M; 8.5a,b,c,d,e,fL,fR; 8.9; 8.10; 8.11d; 8.12b,e Ralph T. Hutchings
8.14d Patrick M. Timmons
8.16c Ralph T. Hutchings
8.17d Frederic H. Martini, Inc.
8.18b,c Ralph T. Hutchings
8.19 SIU Biomed Comm/Custom Medical Stock Photo, Inc.
8.20a Ralph T. Hutchings
8.20b Eugene C. Wasson, III and staff of Maui Radiology Consultants, Maui Memorial Hospital
8.21b,e Ralph T. Hutchings
8.22a,b Marko Krpan
8.U03 AP Photos

Capítulo 9

9.2a Fred Hossler/Visuals Unlimited
9.2b Don W. Fawcett/Photo Researchers, Inc.
9.3b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
9.4b Don W. Fawcett/Photo Researchers, Inc.
9.7 J.J. Head/Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC
9.13a Comack, D. (ed): HAM'S HISTOLOGY, 9th ed. Philadelphia: J. B. Lippincott, 1987. By Permission.
9.13bT,bB Frederic H. Martini, Inc.

Capítulo 10

10.4 Ralph T. Hutchings
10.11a Mentor Networks Inc.
10.11b Ralph T. Hutchings
10.13c Mentor Networks Inc.
10.13d; 10.14c Ralph T. Hutchings

Capítulo 11

11.8d Ralph T. Hutchings
11.9a Mentor Networks Inc.
11.9d; 11.11f,g; 11.13b,c Ralph T. Hutchings
11.15a Custom Medical Stock Photo, Inc.
11.15c,d; 11.17c Ralph T. Hutchings
11.17d Mentor Networks Inc.
11.18b; 11.19c; 11.20c; 11.21aR Ralph T. Hutchings
11.25a Image Source Limited/Phototake
11.25b Zimmer, Inc.

Capítulo 12

12.1a Mentor Networks Inc.
12.6a Custom Medical Stock Photo, Inc.
12.6c; 12.7a Mentor Networks Inc.
12.8; 12.9; 12.10; 12.11; 12.12; 12.13; 12.14 National Library of Medicine, Visual Human Project

Capítulo 13

13.6a Frederic H. Martini, Inc.
13.6b R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
13.7 John D. Cunningham/Visuals Unlimited
13.8a Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
13.8b Photo Researchers, Inc.
13.9a Pearson Benjamin Cummings
13.13a David Scott/Phototake NYC

Capítulo 14
14.1b,c; 14.2a Ralph T. Hutchings
14.3 Patrick M. Timmons
14.4a Ralph T. Hutchings
14.4b Hinerfeld/Custom Medical Stock Photo, Inc.
14.5a Michael J. Timmons
14.6b R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
14.11b,c Mentor Networks Inc.
14.12 Ralph T. Hutchings
14.14a,b Ralph T. Hutchings

Capítulo 15
15.2b; 15.3c; 15.4a Ralph T. Hutchings
15.7 SIU/Visuals Unlimited
15.8a,b,c; 15.9a Ralph T. Hutchings
15.11c Pat Lynch/Photo Researchers, Inc.
15.11e Michael J. Timmons
15.14a; 15.15a,b; 15.16b,d Ralph T. Hutchings
15.17a Daniel P. Perl, Mount Sinai School of Medicine
15.17b; 15.19a,b Ralph T. Hutchings
15.19bT Ward's Natural Science Establishment, Inc.
15.21a,c Ralph T. Hutchings

Capítulo 17
17.5b Ward's Natural Science Establishment, Inc.

Capítulo 18
18.3d,f; 18.5 Frederic H. Martini, Inc.
18.7cT Pearson Benjamin Cummings
18.7cB G. W. Willis/Visuals Unlimited
18.10c Ralph T. Hutchings
18.10d; 18.15b Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag AB
18.17c Michael J. Timmons
18.17e Ward's Natural Science Establishment, Inc.
18.17f P.M otta/SPL/Photo Researchers, Inc.
18.19a; 18.20 Ralph T. Hutchings
18.21d Michael J. Timmons
18.21f Ralph T. Hutchings
18.23a Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.
18.23c Custom Medical Stock Photo, Inc.
18.25; 18.26a Ralph T. Hutchings
18.27a,b ISM/Phototake
18.U01 Geoff Thompkins/Science Photo Library/Photo Researchers Inc.

Capítulo 19
19.3b Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.
19.6b,c; 19.8b,c Frederic H. Martini, Inc.
19.9c; 19.10b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
19.10c,d Michael S. Ballo, Duke University Medical Center
19.11a,b Project Masters, Inc./The Bergman Collection
19.11c John Paul Kay/Peter Arnold, Inc.
19.11d Custom Medical Stock Photo, Inc.
19.11e Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
19.12 Neil Borden/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 20
20.1a Martin M. Rotker
20.2a David Scharf/Peter Arnold, Inc.
20.2b Dennis Kunkel/CNRI/Phototake NYC
20.2d; 20.5a,b,c,d,e Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.
20.6 Frederic H. Martini, Inc.
20.7 Custom Medical Stock Photo, Inc.

Capítulo 21
21.2d Ralph T. Hutchings
21.3c EdR eschke/Peter Arnold, Inc.
21.5a,b Ralph T. Hutchings
21.6b Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag AB
21.6c,d Ralph T. Hutchings
21.7cL Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
21.7cR Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
21.8c Ralph T. Hutchings
21.8d Frederic H. Martini, Inc.
21.9a,b Howard Sochurek/Medichrome/The Stock Shop, Inc.
21.9c Peter Arnold, Inc.
21.9d ISM/Phototake
21.12 Jim Wehtje/Getty Images, Inc.-Photodisc
21.13a Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
21.13b Darryl Torckler/Getty Images Inc./Stone Allstock
21.13c,d Philips Medical Systems
21.14 Larry Mulvehill/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 22
22.1 Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
22.3T William Ober/Visuals Unlimited
22.3B B & B Photos/Custom Medical Stock Photo, Inc.
22.4c,d BAILEY'S TEXTBOOK OF MICROSCOPIC ANATOMY by Kelly, Wood, & Enders. Copyright 1984, Williams & Wilkins.
22.5b Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
22.11 E. L. Lansdown/University of Toronto
22.12b,c; 22.14; 22.15b,c Ralph T. Hutchings
22.17b Frederic H. Martini, Inc.
22.18b Ralph T. Hutchings
22.29 Custom Medical Stock Photo

Capítulo 23
23.3b Frederic H. Martini, Inc.
23.5 Ralph T. Hutchings
23.8a David M. Phillips/Visuals Unlimited
23.8b Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.
23.9 Ralph T. Hutchings
23.13 Frederic H. Martini, Inc.
23.14a Ralph T. Hutchings
23.16c,d; 23.17c Frederic H. Martini, Inc.

Capítulo 24
24.2a Frederic H. Martini, Inc.
24.2c Photo Researchers, Inc.
24.3b,c Ralph T. Hutchings
24.5c Phototake NYC
24.7b John D. Cunningham/Visuals Unlimited
24.8a; 24.10b,c,d Ralph T. Hutchings
24.11c Ward's Natural Science Establishment, Inc.
24.12b Don W. Fawcett. Micrograph by P. Gehr
24.13 Ralph T. Hutchings
24.16 James Cavallini/Photo Researchers

Capítulo 25
25.2 G. W. Willis/Visuals Unlimited
25.6.bT,bM,bB Frederic H. Martini, Inc.
25.7e Ralph T. Hutchings
25.9a Alfred Pasieka/Peter Arnold, Inc.
25.9b Astrid and Hanns-Frieder Michler/SPL/Photo Researchers, Inc.
25.10b NetAnatomy.com
25.10c ISM/PhototakeUSA
25.11b Ralph T. Hutchings
25.13a P. Motta/SPL/Photo Researchers, Inc.
25.13b John D. Cunningham/Visuals Unlimited
25.13e,f Frederic H. Martini, Inc.
25.15d John D. Cunningham/Visuals Unlimited
25.15eL Michael J. Timmons
25.15eR G. W. Willis/Visuals Unlimited
25.16; 25.17b Ralph T. Hutchings
25.18 Custom Medical Stock Photo, Inc.
25.19b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
25.20b,e Ralph T. Hutchings
25.21b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
25.21c Michael J. Timmons
25.22c; 25.23 Frederic H. Martini, Inc.
25.24 David Musher/Photo Researcher
25.U01 Bob Tallitsch

Capítulo 26
26.1d; 26.2; 26.3a Ralph T. Hutchings
26.3c Mentor Networks Inc.
26.5a,b Ralph T. Hutchings
26.7b,c,d Pearson Benjamin Cummings
26.8b R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
26.8e David M. Phillips/Visuals Unlimited
26.9a Photo Researchers, Inc.
26.9b E. L. Lansdown
26.9c Photo Researchers, Inc.
26.10d Ralph T. Hutchings
26.11a Ward's Natural Science Establishment, Inc.
26.11b,c Frederic H. Martini, Inc.
26.12 Courtesy of Samih Nasr, M.D., Columbia University Medical Center, New York
26.U01 Bob Tallitsch

Capítulo 27
27.1 Ralph T. Hutchings
27.4b Frederic H. Martini, Inc.
27.5a Don W. Fawcett, Harvard Medical School
27.5c Ward's Natural Science Establishment, Inc.
27.6b David M. Phillips/Visuals Unlimited
27.7a Ralph T. Hutchings
27.7b,c Frederic H. Martini, Inc.
27.8bT Ward's Natural Science Establishment, Inc.
27.8bM R. G. Kessel and R. H. Kardon/Visuals Unlimited
27.8c,d,e Frederic H. Martini, Inc.
27.9b Ward's Natural Science Establishment, Inc.
27.9d; 27.10; 27.11c Ralph T. Hutchings
27.12a,b,c,d Frederic H. Martini, Inc.
27.12e C. Edelmann/La Villete/Photo Researchers, Inc.
27.12f,g G. W. Willis/Visuals Unlimited
27.14b Frederic H. Martini, Inc.
27.14c Custom Medical Stock Photo, Inc.
27.15b CNRI/SPL/Photo Researchers, Inc.
27.16 Ward's Natural Science Establishment, Inc.
27.17a,b Frederic H. Martini, Inc.
27.17c Michael J. Timmons
27.17d Frederic H. Martini, Inc.
27.19 Michael J. Timmons
27.21b Ralph T. Hutchings
27.21c Fred E. Hossler/Visuals Unlimited
27.21d Frederic H. Martini, Inc.

Capítulo 28
28.1a Francis Leroy/Photo Researchers, Inc.
28.6b Frederic H. Martini, Inc.
28.7a Arnold Tamarin
28.7b,c,d; 28.8a Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag AB
28.8b Photo Researchers, Inc.

Índice alfabético

A
A, banda, 243
Abdomen
  anatomía superficial, 331
  arterias, 589
  drenaje linfático, 621
  músculos, 251. *Véase también* Cuerpos
  regiones y planos, 15-16, 23, 671
  venas, 599
Abducción, 209, 210
Abertura
  lateral, 394
  mediana, 394
  ureteral, 704
Aborto espontáneo, 762
Abrasión, 104
Absorción, 13
Acalasia, 666, 689
Accidente cerebrovascular (ACV), 395, 448
Acción
  líneas, 285, 292, 305
  potencial, 246, 342, 353
Acetábulo, 186
Acetato de desmopresina (DDAVP), 512
Acetilcolina (AC), 246, 355, 459, 562, 566
Acetilcolinesterasa (ACE), 246
Ácido
  clorhídrico, 673
  gammaaminobutírico (GABA), 410
Acidófilos. *Véase* Eosinófilos
Ácinos pancreáticos, 685-686
Acné, 102, 108
Acomodación, curvaturas, 159-60
Acondroplasia, 123, 130
Acromegalia, 123, 130, 522
Acromion, 179
Acropaquia, uñas, 89
Actina, 75
Actina F, 244
Actina G, 244
Activación
  de los ovocitos, 748, 749
  simpática, 458
Acueducto del mesencéfalo (acueducto de Silvio), 389, 394
Acúfenos, 502
Acupuntura, 473
Adaptabilidad, 6
Adaptación
  central, 471
  periférica (sensitiva), 471
Addison, enfermedad, 522
Adenocarcinoma, 78
Adenohipófisis, 510-513. *Véase también* Hipófisis
Adenoides (amígdala faríngea), 616, 634
Adherencias, 73, 84
  focales, 45
Adhesión intertalámica, 405
Adipocito(s), 62, 63
  blancos, 66
  del tejido adiposo pardo, 66
  unilocular, 66
Administración transdérmica de medicamentos, 93
Adrenalina, 458, 523, 643
Aducción, 210, 211
Adventicia, 572, 657
Afasia, 444, 448
  global, 444
Aglutinación, 537
Aglutininas, 537
Aglutinógenos (antígenos de superficie), 536
Agonista (músculo), 253
Agranulocitos (leucocitos agranulares), 534, 539-540
Aguja hipodérmica, 98, 108
Agujero(s), 128. *Véase también* Escotadura
  apical, 664
  arco vertebral, 161
  articulación vertebral, intervertebral, 162
  cigomaticofacial, 151, 155
  cráneo, aspectos generales, 155
  cribiforme, etmoides, 147, 155, 157
  esfenoides
    espinoso, 147, 155, 157
    oval, 147, 155, 157
    redondo, 147, 155, 157
  estilomastoideo, hueso temporal, 146, 155, 156
  etmoides, cribiforme, 147, 155, 157
  hueso
    cigomático, cigomaticofacial, 151, 155
    coxal, obturador, 186
    frontal, supraorbitario, 142, 155, 156
    occipital
      agujero magno, 142, 155
      yugular, 142, 155, 156
    temporal
      estilomastoideo, 146, 155, 156
      mastoideo, 146, 155, 156
  infraorbitario, 148, 155, 157
  interventricular, 389, 394
    encéfalo, 389, 394
  intervertebrales, 162
  mandíbula
    mandibular, 151, 155, 158
    mentoniano, 151, 155, 158
  mastoideo, hueso temporal, 146, 155, 156
  maxilar, infraorbitario, 148, 155, 157
  mentonianos, 151, 155, 158
  nutricio, 123
  obturador, hueso coxal, 186
  oval, 554, 649, 783, 785
    permeable, 602
  palatino, mayor y menor, 150, 157
  rasgado, 146, 155, 156
  sacro, 168
  supraorbitario (escotadura), hueso frontal, 142, 155, 156
  transverso, vértebras cervicales, 164
  vertebral, 161
  yugular, hueso occipital, 142, 155, 156
Ala(s)
  mayores, esfenoides, 147
  menores, esfenoides, 147
  sacro, 168
Alantoides, 755, 790
Albinismo, 91
Albino, 91
Albúminas, 533
Alcohol, consumo en el embarazo, 751, 796
Aldosterona, 516, 703
Alergia, 626
  al látex, 106-108
Aleteo auricular, 564
Almohadillas de tejido adiposo
  articulación
    de la rodilla, 225
    sinoviales, 208
  bucales, 662
  pectorales, 739
Alvéolos, 579, 630, 643, 645, 646
Alzheimer, enfermedad, 447, 448
Amielínico, 345
Amígdala(s), 616, 634
  faríngea (adenoides), 616, 634
  linguales, 616
  palatinas, 616
Amigdalectomía, 617, 627
Amigdalitis, 617, 627
Amilasa salival, 664
Amiloide, 447
Aminoácidos, derivados, 508
Amnesia, 445, 448
Amniocentesis, 796
Amnios, 755
Ampolla
  conducto
    deferente, 722
    semicircular, 483
  duodenal (hepatopancreática, de Vater), 677
  trompa uterina, 732
Anafase, 47
Anaplasia, 84
Anastomosis, 558, 576, 577
  arterial, 576
Anatomía
  clínica, 4
  comparada, 3
  definición, 2
  del desarrollo, 3
  escalas, 2
  evolutiva, 3
  léxico, 13-20
  macroscópica, 3
  microscópica, 2
  patológica, 4, 23
  quirúrgica, 4
  radiográfica, 4
  regional, 3
  seccional (por cortes)
    aplicaciones clínicas, 4, 22-23
    cerebro, 408
    corazón, 555
    médula espinal, 367-368
    nivel
      del quiasma óptico, 336
      de la vértebra
        C_2, 337
        L_1, 695
        L_5, 339
        T_8, 338
        T_{10}, 338
        T_{12}, 339, 695
    ojo, 494
    planos y secciones, 16-18
    sistema urinario, 695
    terminología, 16-18
  sistémica, 3
  de superficie (superficial), 3, 14-16
    abdomen, 331
    cabeza y cuello, 328-329
    corazón, 552-554
    cráneo, 156-158
    espalda y hombros, 330
    miembro
      inferior, 334-335
      superior, 332-333
    pelvis, 334
    tórax, 330
  transversal. *Véase* Anatomía seccional
Anatomopatólogos, 84
Anclaje
  filamentos, 610
  uniones, 44-45
Andrógenos, 513, 523, 718
Anemia, 524, 535, 544, 688
  aplásica, 544
  de células falciformes, 537
  hemorrágica, 544
Anencefalia, 441, 448
Anestesia caudal, 366, 383
Aneurisma, 603, 605
Anfiartrosis, 206
Anfimixis, 748, 749
Angina de pecho, 561, 568
Angiografía, 23
  aorta abdominal, 589
  aórtica, 582
  cabeza, 585
  coronaria, 560, 580
  pulmonar, 580
  renal, 705
  suprarrenal, 526
  con sustracción digital (ASD), 23, 560
Angioplastia con sonda de globo, 560, 561
Angiosarcoma, 78
Angiotensina I, 518
Angiotensina II, 518
Angiotensinógeno, 518
Ángulo
  costilla, 170
  escápula, 176
  mandíbula, 151
Anillo(s)
  fibroso, 214
  inguinales, 715
Anisótropo, 243
Ano, 679
Anquiloglosia, 663
Anquilosis, 233
Antagonistas (músculo), 254
Anticuerpos, 63, 533, 613
  inmunidad mediada, 613
Antígeno(s), 613
  presentación, 614
  prostático específico (PSA), 743
  de superficie (aglutinógenos), 536
Antioncogén, 48
Antracosis, 652
Antro
  marca ósea, 128
  ovario, 731

Aorta
  abdominal, 588-590
  angiograma, 582
  ascendente, 556, 582
  descendente, 556, 588
  distribución, 584
  dorsal, 784
  segmento terminal, 590
  torácica, 588
Aparato. *Véase también* Sistema
  digestivo
    aspectos generales, 11, 656, 657
    capas musculares y movimiento de los materiales digestivos, 657-660
    caso clínico (enfermedad intestinal inflamatoria), 687-689
    cavidad bucal, 662-666
    desarrollo, 661, 759, 789-790
    dientes, 664-666
    envejecimiento, 687
    esófago, 667-668
    estómago, 668-673
    faringe, 666-667
    funciones, 656
    glándulas salivales, 663-664
    hígado, 680-683
    intestino
      delgado, 673-677
      grueso, 677-680
    lengua, 662-663
    mucosas, 656
    organización histológica, 656-657
    órganos glandulares accesorios, 680-686
    páncreas, 684-686
    peritoneo, 660-661
    vesícula biliar, 683-684
  lagrimal, 492-493
  reproductor
    desarrollo, 759, 793
    femenino
      aspectos generales, 12, 727, 728
      caso clínico (prolapso uterovaginal), 741-743
      ciclo endometrial, 735-736, 737
      control hormonal, 737
      desarrollo, 759, 795
      embarazo, 740-741
      envejecimiento, 741
      genitales externos, 738-739
      mamas, 739-740
      organización, 715
      ovarios, 521, 727-732
      trompas uterinas, 732-733
      útero, 733-736
      vagina, 736-738
    masculino, 722
      aspectos generales, 12, 715, 718
      conducto deferente, 722, 724
      desarrollo, 759, 794
      envejecimiento, 741
      epidídimo, 722
      espermatogenia, 718
      espermiogenia, 719, 721
      glándulas
        accesorias, 723-725
        bulbouretrales, 724, 725
        seminales, 723, 724
      organización, 715
      testículos, 520-521, 715-721
      uretra, 722
  respiratorio
    aspectos generales, 10, 630-631
    bronquios principales, 637-638
    cambios al nacer, 649, 763
    caso clínico (cáncer pulmonar), 650-651
    cavidades pleurales y membranas pleurales, 646-647
    centros respiratorios del encéfalo, 649-650
    desarrollo, 759, 787-788
    envejecimiento, 650
    epitelio, 631-632
    funciones, 631
    inferior, 631, 634-646
    laringe, 634-637
    músculos respiratorios, 647-649
    pulmones. *Véase* Pulmón
    superior, 631, 632-634
    tráquea, 637
    ventilación pulmonar, 647-649
Apéndice(s)
  epiploicos, grasos, colon, 677
  vermiforme, 617, 677
  xifoides, esternón, 170
Apendicectomía, 617
Apendicitis, 617, 626, 677
Apgar, puntuación, 763, 796
Apófisis, 128
  alveolar, maxilar, 148, 157
  arco vertebral
    espinosa, 161
    transversa, 162
  articular, vértebras, 162, 168
  axis, odontoides, 164
  cigomática, hueso temporal, 145, 156
  clinoides, anterior/posterior, 147, 157
  condilar, mandíbula, 151, 157
  coracoides, escápula, 176
  coronoides
    cúbito, 179
    mandíbula, 151, 158
costal, vértebras, 164
cúbito, coronoides/olécranon, 179
escápula, coracoides, 176
esfenoides
  clinoides, 147
  pterigoides, 147, 157
espinosa, arco vertebral, 161
esternón, xifoides, 170
estiloides, 146, 156
  cúbito, 179
  hueso temporal, 146, 156
  radio, 181
frontal, maxilar, 148
hueso
  cigomático, temporal, 157
  palatino, orbitaria, 150
  temporal, cigomática, 145, 156
mandíbula, condilar/coronoides, 151, 157
mastoides, 146, 156
  hueso temporal, 146, 156
maxilar
  alveolar, 148
  frontal, 148
  palatina, 148, 157
odontoides, axis, 164
orbitaria, hueso palatino, 150
palatina, maxilar, 157
pterigoides, esfenoides, 147, 157
sacro, articular superior, 168
temporal, hueso cigomático, 145, 157
transversa, arco vertebral, 162
vértebras
  articulares, 162, 168
  costales, 164
Aponeurosis, 68, 239
Aquiles, tendón. *Véase* Tendón calcáneo
Atlas, 164, 165
Aracnoides, 365, 391
Árbol bronquial, 640-642
Arborización terminal (telodendria), 350
Arcada dentaria, 666
Arco(s)
  atlas, anterior/posterior vertebral, 164
  branquiales. *Véase* Arcos faríngeos (arcos branquiales)
  cigomático, 145
  dorsal (arterias), 590
  faríngeos (arcos branquiales), 634, 662, 766, 777, 781
  hioideo, 767, 773
  longitudinal, pie, 200
  mandibular, 766, 773
  neural, 161
  palatofaríngeo, 634, 662
  palatogloso, 634, 662
  palmar, superficial/profundo, 586
  pie, 199-200
  plantar (arterias), 590
  reflejo, 376
  superciliares, 142
  transverso, pie, 200
  venoso(s)
    dorsal, 598
    palmar, 595
    plantar, 597
    vertebrales, 161-162, 164
Área
  de asociación
    motora somática, 400
    sensitiva somática, 400
    visual, 400
  densa, unión de anclaje, 45
  interpretativa general, 443-444
  perceptiva. *Véase* Área interpretativa general
  preóptica, hipotálamo, 406, 407
  tuberal, hipotálamo, 406, 407
Aréola, 739
Arreflexia, 383
Arritmias, 564, 568
  cardíacas, 564, 568
Arrugas, 96
Arteria(s)
  abdominales, 588-590
  aorta. *Véase* Aorta
  arco
    dorsal, 590
    palmar, 586
  arqueada, 696, 735
  arteriolas, 573, 575
  axilar, 373, 582
  basilar, 586
  braquial, 582
  bronquial, 588, 646
  cabeza y cuello, 585-586
  carótida, 146, 395, 582, 586, 646
    común, izquierda/derecha, 582
    externa/interna, 146, 395, 586, 646
  cerebral, 586, 587
    anterior/media/posterior, 586, 587
    media, accidente cerebrovascular, 448
  circuito sistémico, 579-593
  circunfleja, 582
    humeral, 582
  cística, 590
  cólica, 590
    izquierda/derecha, 590
  comparación con las venas, 572-573
  comunicante, 586
  coronaria, 558-561
    derecha (ACD), 558
    izquierda, 558
  cortical radiada (interlobulillar), 696
  cubital, 582
  dentaria, 664
  descendente anterior izquierda, 558
  digital, 586
  dorsal del pie, 590
  elástica, 573, 574-575
  epigástrica, 718
  esofágica, 590, 667
  espiral, 735
    útero, 735
  esplénica, 590, 624, 671, 685
  femoral, 590
  frénica, 590, 590
    inferior/superior, 590, 590
  funciones, 68, 548
  gástrica, 590, 671
    izquierda/derecha, 590, 671
  gastroduodenal, 590, 671
  gastroepiploica, 590, 671
    izquierda/derecha, 590, 671
  genicular, 590
  glútea, 590
    superior, 590
  gonadal, 590
  hepática, 590, 671
    común, 590, 671
    propia, 681
  hipofisaria, 510
    superior, 512
  histología, 572-573
  humeral circunfleja, 582
  ileocólica, 590
  ilíaca, 574, 590, 734
    interna/externa/común, 574, 590, 734
    izquierda/derecha, 590
  innominada (tronco braquiocefálico), 582
  intercostal, 590
  interlobular, riñón, 696
  interlobulillar, 696, riñón, 696
  intestinal, 590, 674
  lumbar, 590
  mediastínica, 590
  mesentérica, 590, 674, 677, 685
    inferior, 590
    superior, 480
  miembro
    inferior, 590-592
    superior, 582-584
  musculares, 573, 575
  nutricias, 123
    hueso, 123
  obturatriz, 590
  oftálmica, 586
  ovárica, 590, 727, 734
  pancreática, 520, 590, 685
  pancreaticoduodenal, 520, 590, 685
    inferior/superior, 520, 590, 685
  pedia dorsal, 590
  pelvis, 590-592
  pericárdica, 590
  peronea, 590
  plantar, 590
    lateral/medial, 590
  poplítea, 590
  profunda, pene, 725
  pudenda, 590, 718
    interna/externa, 590, 718

pulmonar, 556, 579
izquierda/derecha, 556, 579
quística, 590
radial, 582, 735
recta, 735
útero, 735
rectal, 590
renal, 516, 590, 696
retiniana, 498
sacra, 590
media, 590
segmentaria, 696
riñón, 696
sigmoidea, 590
subclavia, 574, 582
suprarrenal, 590
testicular, 590, 715
tibial, 590
posterior/anterior, 590
tiroidea, 513, 515
superior/inferior, 515
torácica(s), 582-584
interna, 582
tórax, 583-584
trabecular, 624
tronco, 588-590
umbilical, 600, 755, 784
uterina, 734
vertebral, 164, 582
Arterioesclerosis, 574, 605
Arteriolas, 573, 575, 698
aferentes, 696
Articulación(es), 74. *Véanse también las articulaciones específicas*
acromioclavicular, 179, 222
alveolar, 221
astragalocrural, 193, 228-229, 230. *Véase también* Tobillo
astragaloperoneal, 228
atlantoaxoidea, 221
atlantooccipital, 221
biaxial, 209
carpometacarpiana, 221
cartilaginosa, 207
clasificación
estructural, 207
funcional, 206-208
condílea, 212, 213
elipsoideas, 212, 213
costovertebral, 221
deslizantes (planas), 212, 213
envejecimiento, 229, 231
esternoclavicular, 176, 215-217, 222
esternocostal, 221
fibrosa, 207
glenohumeral. *Véase* Hombro
humerocubital, 179, 219
humerorradial, 179, 219
intercarpiana, 219, 221
interfalángica, 221, 229
intertarsiana, 229
metacarpofalángica, 221
metatarsofalángica, 229
monoaxial, 209
movimiento(s), 209-211
dinámico, 209
multiaxiales, 212
no axiales, 212
planas (deslizantes), 212, 213
radiocarpiana, 219
radiocubital, 179, 219, 221, 222
sacrococcígea, 221
sacroilíaca, 168, 186, 221
en silla de montar, 212
sinoviales
clasificación estructural, 212, 213
estructuras accesorias, 208
fuerza, comparación con movilidad, 208
funciones, 206-207
líquido sinovial, 207-208
luxación, 208
tipos, 207
tarsometatarsiana, 229
temporomandibular, 151, 214, 221
tibioastragalina, 228
tibioperonea, 228
triaxial, 209
vertebral, 162
Artritis, 231, 233
inflamatoria, 233
reumatoide, 233
Artroscopia, 228
Artroscopio, 233
Artrosis, 233, 651
vertebral, 651
Asa
cervical, nervio, 372
de la nefrona (de Henle), 698
Asbestosis, 652
Ascitis, 73, 84
ASD (angiografía con sustracción digital), 23, 560
Asma, 643, 652
Asociación
áreas, 400
fibras, 400, 401
Asta(s)
grises, anterior/lateral/posterior, 367
mayores, hueso hioides, 154, 158
médula espinal, 367
menores, hueso hioides, 154, 158
Astrágalo, 196, 198
Astrocitos, 344
Ataxia, 414, 427
Atelectasia, 652
Aterosclerosis, 574, 604, 605
Atlas, 164, 165
ATP (trifosfato de adenosina), 32-33, 38, 246
Atresia, 727
Atrofia muscular, 249
Audición. *Véase también* Oído
cóclea, 486, 488-490
desarrollo, 758, 780
detección de los sonidos, 490
pérdida, 490, 502-503
vías auditivas, 490, 491
Audiograma, 503
Audiólogo, 502
Auerbach, plexo (mientérico), 657
Aumento
de tamaño
cervical, médula espinal, 362
lumbosacro, médula espinal, 362
de volumen, médula espinal, 362
Aurículas, corazón, 548, 554, 556
derecha, 554
izquierda, 556
Autólisis, 42
Automatismo (autorritmicidad), 561
Autorregulación
capilar, 575
producción de orina, 696
Avascular, 53
Avascularidad, tejido epitelial, 52
Axis, 164, 165
Axolemma, 346
Axón, 77, 342, 344
Axoplasma, 350

B

Babinski, signo, 383
Bailarín, fractura, 201, 202
Banda
de adhesión *(zonula adherens)*, 45
moderadora, 554
Barorreceptores, 475, 476
Barrera
hematoencefálica (BHE), 344, 391-394, 395
hematoneural, 369
hematotesticular, 719
hematotímica, 623
Bartholin, glándulas, 738
Base
corazón, 552
estribo, 482
metacarpiano, 184
pulmón, 638
rótula, 196
sacro, 168
Basófilos, 68, 534, 539
Bastones, 498
Bazo, 623-624
Bell, parálisis, 423, 427
Bicapa fosfolipídica, 31
Bíceps
braquial, músculo
acción, 290, 293
inervación, 290, 293
organización de las fibras musculares, 251, 252
origen/inserción, 176, 179, 181, 219, 285, 290, 293
femoral, músculo, 308, 309
Bilirrubina, 681
Bilis, 681, 682-683, 685
Biopsias, 366
Bisfosfonatos, 126
Blastocele, 752
Blastocisto, 79, 740, 750, 751-752
Blastodisco, 752, 753
Blastómero, 751
Bloque de la rodilla, 225
Bloqueo epidural, 366, 383
Bocio, 522, 526
Bolo, 666
Bolsa(s)
adventicias, 208
endolinfática, 485
faríngeas, 781
rectouterina, 727
sinoviales
articulación
del hombro, 219
sinovial, 208
funciones, 208
subacromial, 219
subcoracoidea, 219
subdeltoidea, 219
subescapular, 219
vesicouterina, 727
Bomba(s)
de intercambio, 33
iónicas, 33
músculos estriados, 578
Borde(s)
interóseo
peroné, 196
tibia, 196
pélvico, 193
supraorbitarios, hueso frontal, 142, 156
Botón terminal (botón sináptico), 350
Bóveda craneal, 142
Bowman
cápsula (cápsula glomerular), 699
glándulas (glándulas olfativas), 477
Bradicardia, 562, 564, 568
Brazo, 14. *Véase también* Miembro superior
Broca, área (centro del habla), 444
Brodmann, áreas, 444-445
Broncoconstricción, 643
Broncodilatación, 643
Broncodilatadores, 643
Broncoespasmo, 643
Broncograma, 642
Bronquíolos, 640, 643
respiratorios, 643
terminales, 640
Bronquios, 640
extrapulmonares, 637
lobulares, superior/medio/inferior, 640
primarios, 637, 640-642
principales, izquierdo/derecho, 637
secundarios, 640
terciarios, 640
Bronquitis, 643, 652
Brunner, glándulas (glándulas de la submucosa duodenal), 676
«Bucal», marco dental de referencia, 666
Bulbo(s)
olfativos, 418
pene, 725
piloso, 98
raquídeo
anatomía macroscópica, 148, 414, 415
aspectos generales, 388, 389
centro de control respiratorio, 415, 649
desarrollo, 387, 388
funciones, 389, 414-415, 442
del vestíbulo, vagina, 737
Burkitt, linfoma, 622
Bursitis, 219, 292, 324, 651

C

Cabeza, 128
costilla, 169
cúbito, 179
epidídimo, 722
espermatozoide, 721
fémur, 193
húmero, 179
páncreas, 684
peroné, 196
radio, 181
región corporal
anatomía
seccional, 336, 337, 633-634
superficial, 328-329
angiograma, 585
arterias, 585
drenaje linfático, 618
huesos. *Véase* Cráneo
músculos, 263-267
nervios, 372
venas, 593, 595
Cadena
alfa, hemoglobina, 536
beta, hemoglobina, 536
Cadera, articulación
cápsula articular, 223, 224
estabilización, 223, 225
fractura, 323-324
ligamentos, 223
movimiento, 305-306
músculos, 302-306

Calacio, 491
Calambres musculares, 292, 324
Calcáneo, 199
Calcificación, 117
  focal, 574
Calcificado, 62
Calcio
  antagonistas, 561
  contracción muscular, 246
  cuerpo humano, 4
  hueso, 112
  metabolismo, 124
Calcitonina, 124, 515
Calcitriol, 124, 515, 518. *Véase también* Vitamina D
Cálculos, 707, 711
  biliares, 685
  renales, 707, 711
Cáliz, menor/mayor, 696, 697
Callo
  cutáneo, 92, 105
  óseo, interno/externo, 125, 130
Calvicie masculina, 100
Cámara vítrea, 493
Campo
  receptivo, 471
  ungueal, 764
Canal(es)
  con apertura controlada, 31
  central
    arteriolar, 575
    hueso (canal de Havers), 113
    médula espinal, 367
  cervical, 733
  mandibular, 151
  membrana celular, 31
  perforantes (Volkmann), 113
  semicirculares, 483-485
  vaginal, 736
Canalículos, 72, 112, 493
  biliares, 682
  lagrimales, 493
Cáncer
  cervical, 733
  definición, 47, 48
  desarrollo, 78
  división celular, 47
  endometrial, 733
  mama, 739
  metastásico, 622
  ovárico, 727
  piel, 96
  prostático, 743
  pulmonar, 646, 650-651, 652
  testicular, 722
  tipos, 78
  uterino, 733
Candidiasis, 743
Canto
  lateral, 491
  medial, 491
Capa(s)
  basal, útero, 734
  densa, lámina basal, 54
  ependimaria, 387, 774, 775
  fibrosa, ojo, 493-495
  funcional, útero, 734
  germinales, 79, 753
    primarias, 79
  lúcida, lámina basal, 54
  del manto, 774, 775
  marginal, 774, 775
  media, vasos sanguíneos, 572
  muscular, vagina, 737
  neural (retina), 496-498
  osteogénica, 119
  papilar, dermis, 95
  parietal, 772
  pigmentada, retina, 496
  reticular, dermis, 95
  secretora, 59, 60, 671
  subcutánea, 74, 97-98, 764
  vascular, ojo, 495-498
  visceral, 772
Capacitación, 722
Capilares
  continuos, 575
  estructura, 573, 575-577
  funciones, 68, 548
  linfáticos, 610-611
  mecanismos, 575
  perforados, 575, 576, 699
  peritubulares, 698
Capítulo, húmero, 179
Cápsula
  articular, 117, 207
  fibrosa, riñón, 694
  glomerular (de Bowman), 699
  interna, corteza cerebral, 401
  órgano, 68, 74-75
Cara *cis,* 42
Caras articulares superior e inferior, costillas, 169
Características superficiales (marcas óseas), 127-128
Carbohidrasas, 686
Carcinógeno, 48
Carcinoma, 78. *Véase también* Cáncer
  basocelular, 96, 108
  epidermoide, 96, 108
Cardias, estómago, 668
Cardiopatía(s)
  congénitas, 602
  reumática, 568
Cardioversor/desfibrilador implantable automático (CDIA), 564-565
Carditis, 554, 568
Carilla(s), 128
  articular, vértebras, 162
  atlas, articulares superiores/inferiores, 164
  costal, vértebras, 164
  rótula, 196
Carina, 637
Carne de gallina, 98
Caroteno, 93, 94
Carpo, flexor radial, 293, 294
Cartílago(s)
  alar, 632
  aritenoides, 635
  articular, 115, 119, 207
  comparación con el hueso, 72
  corniculado, 635
  costales, 169
  cricoides, 635
  cuneiforme, 635
  elástico, 70, 71
  epifisario (placa de crecimiento), 119, 121
  epiglótico, 635
  fibroso, 70, 71
  formación y crecimiento, 69
  hialino, 70, 71
  laríngeo, 635-636
  nariz, 632
  tipos, 70-71
  tiroides, 513, 634-635
  traqueal, 637
Carúncula lagrimal, 491
Casos clínicos
  aparato
    cardiovascular (síndrome de robo subclavio), 603-605
    digestivo (enfermedad intestinal inflamatoria), 687-689
    respiratorio (cáncer pulmonar), 650-651
    urinario (síndrome hemolítico urémico), 709-710
    y reproductor (prolapso uterovaginal), 741-743
  sistema
    endocrino (tiroiditis de Hashimoto), 524-526
    linfoide (linfoma torácico), 625-626
    muscular (fractura de cadera), 323-324
    nervioso (hipoacusia), 502-503
    óseo (síndrome cervical postraumático), 231-232
    tegumentario (alergia al látex), 106-108
Cataratas, 499, 503
  seniles, 500
Catecolaminas, 508. *Véanse también* Adrenalina; Noradrenalina
Catéter, cardíaco, 561
Caudal, 16
Cavidad(es)
  abdominal, anatomía
    macroscópica, 20
    seccional (por cortes), 338-339
  abdominopélvica, 19-20
  amniótica, 752
  anterior, ojo, 493, 496
  bucal. *Véase* Cavidad oral
  corporal(es), 18-20
    ventral, 18-20
  craneal, 135
  escrotal, 715
  folicular, 513
  glenoidea (fosa glenoidea), escápula, 176
  de la médula ósea, 113, 114, 116
  nasal, 632-634
  oral, 662-666
    anatomía macroscópica, 662-666
    dientes, 664-666
    glándulas salivales, 663-664
    lengua, 662-663
  pélvica, 20, 339
  pericárdica, 18, 19, 548, 549
  peritoneal, 19-20
  pleural, 18, 19, 646, 788
  posterior, ojo, 493, 496
  pulpar, diente, 664
  timpánica, 146, 480. *Véase también* Oído medio
  torácica
    anatomía seccional (por cortes), 338, 647
    contenido, 18-19
    ubicación del corazón, 549
Cayado aórtico, 556, 582, 584, 784
Cefalea, 343
  por tensión, 343
Celdillas neumáticas
  etmoidales, 153
  mastoideas, 145, 146, 156
Celoma, 18, 19, 789
Célula(s)
  adiposas multiloculares, 66
  alfa, páncreas, 519, 520, 521
  alveolares, 643
  amacrinas, retina, 498
  anatomía
    aspectos generales, 29-30
    citoplasma, 35-36
    flujo de membrana, 43
    membrana plasmática (plasmalema), 31-35
    orgánulos
      membranosos, 38-43
      no membranosos, 36-38
  anucleadas, 39
  del aparato yuxtaglomerular, 703
  basales. *Véase* Células progenitoras (células basales; células germinativas)
  beta, páncreas, 519, 520, 521
  bipolares, retina, 498
  ciclo vital
    interfase, 45-46
    mitosis, 46-48
  de conducción, 561
  cromafines, 518
  definición, 2, 27
  delta, páncreas, 520, 521
  dendríticas, 617
  diana, 509
  diversidad, 28
  ependimarias, 345-346
  estrelladas, 62
  estudio
    diagrama de flujo, 29
    microscopia
      electrónica, 2, 27, 28
      óptica, 2, 27-28
  fagocitarias (macrófagos alveolares), 646
  falciformes, 59-60
  fijas, tejido conjuntivo, 62-63
  ganglionares, retina, 498
  germinales (gametos), 27, 45, 715. *Véase también* Gametos (células germinales)
    primordiales, 795
  germinativas. *Véase* Células progenitoras (células basales; células germinativas)
  glandulares, 53
  gliales. *Véase* Neuroglia (células gliales)
  de la granulosa, 731
  grasas. *Véase* Adipocitos
  gustativas, 479
  hijas, 45
  horizontales, retina, 498
  indicadoras, 75, 658
  intersticiales (de Leydig), testículos, 520, 718
  marcapasos, 75, 562
  mesangiales, 699
    extraglomerulares, 703
  mesenquimales, 62, 63, 64
  migratorias, tejido conjuntivo, 62, 63
  mioepiteliales, 102
  mucosas, 59-60
    del cuello glandular gástricas, 672
  multinucleadas, 38-39, 75, 240
  nerviosas. *Véase* Neuronas
  neuroendocrinas, 673
  nodulares, 561
  osteoprogenitoras, 112-113
  oxínticas (células parietales), 672, 673
  parafoliculares. *Véase* Células C
  paratiroideas, 515
  parietales, 672, 673
  pilosas, 483
  piramidales, 398, 437
  plasmáticas, 63, 613

principales. *Véase también* Células paratiroideas
estómago, 672, 673
paratiroides, 515
productoras de cimógeno. *Véase* Células principales
progenitoras (células basales; células germinativas), 48
desarrollo, 764
epidérmicas, 91
gustativas, 479
linfáticas multipotenciales, 541
mieloides multipotenciales, 541
olfativas, 477
pluripotenciales (CPPP), 541, 615
de la reproducción. *Véase* Gametos (células germinales)
reticulares, 622
reticuloendoteliales estrelladas (de Kupffer), 681
satélite, 345, 346, 347
musculares, 75, 238, 240
somáticas, 27
de sostén
oído interno, 483
olfativas, 477
sustentaculares, testículos, 520, 719, 721
de la teca, 731
uniones intercelulares, 43-45
Células C, 515
parafoliculares, 513, 515
Células F, páncreas, 520, 521
Celularidad, tejido epitelial, 52
Cemento, 664
intercelular, 43
Centríolos, 29, 36-37
Centro(s), 342, 357
apnéustico, 650
autonómicos, hipotálamo, 406, 407
cardioacelerador, 567
cardioinhibidor, 567
cardiovasculares, 415
espiratorio, 650
germinal, 616
del habla, 444
inspiratorio, 649-650
neumotáxico, 650
de osificación, 117, 119
primario de osificación, 119
reflejos, bulbo raquídeo, 415
respiratorios, 649
del ritmo respiratorio, bulbo raquídeo, 415, 649
secundario de osificación, 119
Centrómero, 46
Centrosoma, 29, 30, 36, 37
Cerebelo
anatomía macroscópica, 412, 413
aspectos generales, 388, 389
embriología, 387, 388
funciones, 412, 414, 440-442
sustancia blanca, 412, 414
Cerebro
acueducto. *Véase* Acueducto del mesencéfalo (acueducto de Silvio)
anatomía macroscópica, 387, 388
disfunción, 414
embriología, 387, 388
fisura longitudinal, 396
hemisferios cerebrales (corteza cerebral)
anatomía macroscópica, 387, 397, 399
áreas
de asociación, 400
motoras y sensitivas, 398-400, 442
centros integradores, 400, 443-445
especialización, 444, 445
función de la memoria, 445
lóbulos, 396-397
núcleos basales, 401
sustancia blanca central, 400-401
sistema límbico, 401, 404
Cerumen, 103, 480
Cesárea, 762
Cetoacidosis, 526
Chlamydia pneumoniae, 574
Chlamydia trachomatis, 496
Cianosis, 93
Ciática, 216, 233, 377
Ciclo
cardíaco
aspectos generales, 561, 562
coordinación de las contracciones, 561
función valvular, 556-558
sistema de conducción, 562-563
de crecimiento del pelo, 100
ovárico, 727-732, 737
folicular, fase, 731, 737
luteínica, fase, 732, 737
uterino
menstruación, 735-736, 737
proliferativa, fase, 735, 736, 737
secreción, fase, 735, 737
Ciego, 677
Cierre epifisario, 120
Cifosis, 161, 171
Cigoto, 79, 715, 748
Cilindros eritrocitarios, 710
Cilios, 30, 37
Cimosina, 673
Cinetosis, 487
Cinocilio, 484
Cintura
pectoral
articulaciones, 222
huesos, 176-179
músculos, 287-289
pélvica
desarrollo, 771
huesos, 186-189
músculos, 302-306
Circuito
neural, 355
pulmonar, 548, 579, 580
sistémico
arterias, 579-592
aspectos generales, 548, 579, 581
venas, 592-600
Circulación
coronaria, 558
placentaria, 755
Circuncisión, 725
Circunducción, 209, 210, 211
Circunvolución(es)
cerebrales, 387, 396
del cuerpo calloso, 401
dentada, 401
parahipocampal, 401
poscentral, 397
precentral, 397
Cirrosis, 687, 689
Cirugía
artroscópica, 228, 233
de derivación coronaria, 561
Cisterna(s), 40
linfática(s)
mediana, 786
primordiales, 786
yugulares, 786
del quilo, 612
terminal, 243
Cistitis, 708, 711
Citocinesis, 47, 749
Citoesqueleto, 29, 35, 36
Citología, 2, 27
Citoplasma
citosol, 29, 30, 36
orgánulos
membranosos
aparato de Golgi, 41-42
aspectos generales, 30
flujo de membrana, 43
lisosomas, 42, 43
mitocondria, 38, 39
núcleo, 38-40
perixomas, 42-43
retículo endoplásmico, 40-41
no membranosos
aspectos generales, 30
centríolos, cilios y flagella, 36-37
citoesqueleto, 35, 36
ribosomas, 37
Citosol, 29, 30, 36
Claustro, 401
Clavícula, 176, 177
tuberosidad costal, 176
Clavo (callo), 92, 105
Climaterio masculino, 741
Clítoris, 738
Cloaca, 790
membrana, 793
pliegues, 793
Coagulación de la sangre, 533, 541
Coanas, 632
Cóccix, 158, 168
cuerno, 168
ligamento, 362
músculo, 281
vértebras, 158, 160, 168
Cóclea, 483, 486, 488-489
Codificación sensitiva, 471
Codo, articulación
estructura, 219, 220
huesos, 181, 182
lesiones, 219
ligamentos, 219
músculos, 293-295
Cola
de caballo, 362, 363
epidídimo, 722
espermatozoides, 721
páncreas, 684
pliegue, 755
Colaterales
arteriales, 575
axonales, 350
Colecalciferol, 124. *Véase también* Vitamina D
Colecistitis, 685, 689
Colecistoquinina (CCK), 673, 684
Colelitiasis, 685, 689
Colesterol
membrana celular, 524
sangre, 524
Colículo, inferior/superior, 410, 411, 485
Colinesterasa, 246
tisular, 462
Colitis ulcerosa, 689
Colles, fractura, 129
Coloide, 513
Colon, 677-679
ascendente, 677, 679
descendente, 679
espástico, 689
sigmoide, 660, 679
transverso, 660, 679
Colostomía, 689
Columna(s)
anales, 679
blancas, anterior/lateral/posterior, 367
definición, 342, 357
epiteliales, 764
renales, 694
sustancia blanca, 367-368
vertebral. *Véase también* Discos intervertebrales
articulaciones, 214-215, 221
curvaturas, 159-161
desarrollo, 768-769
huesos, 161-162
marcas óseas, 128
movimientos, 215, 221
músculos, 273-275
nota clínica, 161
regiones, 158, 160, 162-168, 365
Coma, 446
Comisura(s)
anterior, 401
blanca, 367
grises, 367
Compartimentos, miembro
inferior, 321-322
superior, 318-320
Compatibilidad, tipos de sangre, 537
Complejo
nasal, 152, 153
orbitario, 151, 152
QRS, 566
vestibular, 483-486
yuxtaglomerular, 703
Compresión
ciática, 377
medular, 367
Comunicación
auriculoventricular (AV), 602
interventricular, 602
Concepción. *Véase* Fecundación
Conciencia, 446
Concusión medular, 367
Cóndilo, 128
fémur, medial/lateral, 196
húmero, 179
occipital, 142, 156
tibia, medial/lateral, 196
Condroblastos, 81
Condrocitos, 69
Condroma, 78
Condrosarcoma, 78
Conductillos
biliares, 682
eferentes, testículos, 718
Conducto(s), 128
alveolares, 643
anal, 679
arterioso, 603, 649, 785
permeable, 602
auditivo. *Véase* Meato acústico (conducto auditivo), interno/externo
biliares, 683, 685
carotídeo, hueso temporal, 146, 155, 156
central (de Havers), 113
cístico, 683
coclear, 483
colectores, 698, 700, 703
compuesto, 60
deferente, 722, 724
endolinfático, 485
esfenoides
óptico, 147, 155, 157
pterigoideo, 147

Conducto(s) *(cont.)*
eyaculador, 722
hepáticos, derecho/izquierdo/común, 682-683
hipoglosos, hueso occipital, 142, 155, 156
hueso
lagrimal, nasolagrimal, 151, 155, 157
temporal
auditivo, 145, 155, 156
carotídeo, 146, 155, 156
musculotubárico, 146
incisivos, 148, 155
inguinales, 279, 715
lactífero, 739
linfático(s), 612
derecho, 613
mandibular, 151
maxilar, incisivo, 148, 155
mesonéfrico, 791
mulleriano (paramesonéfrico), 793, 795
musculotubárico, 146, 480
nasolagrimal, hueso lagrimal, 151, 155, 157
occipital, hipogloso, 142, 155, 156
óptico, esfenoides, 147, 155, 157
papilares, 698, 700, 703
paramesonéfrico (mulleriano), 793, 795
parotídeo, 664
perforante (de Volkmann), 113
pronéfricos, 791
pterigoideo, esfenoides, 147
radicular, 664
raquídeo, 162
sacro, 168
de Santorini (pancreático accesorio), 685
semicirculares, 483, 484, 485
simple, 60
sublinguales, 664
submandibulares (de Wharton), 664
timpánico, 486
torácico, 612-613
venoso, 600, 784
vertebral, 162
vestibular, 486
de Wirsung (pancreático), 685
Conexones, 44
Confusión, 446
Conjuntiva, 492
bulbar (ocular), 492
palpebral, 492
Conjuntivitis, 496
crónica, 496
Conmoción, 232, 233, 391, 427
Cono(s), 498
arterial, 554
medular, 362
Contracción(es)
auriculares prematuras (CAP), 564
herida, 108
muscular, 245-248
aspectos generales, 247-248
comienzo, 246
control neural, 246, 248-249
final, 246
teoría del deslizamiento de los filamentos, 245-246
ventriculares prematuras (CVP), 564
Contractura, 319
Control motor somático, 441-442
Contusión medular, 367
Convergencia, 355, 356
Copas ópticas, 779
Corazón
anatomía
interna, 554-556
seccional, 555
superficial, 552-554
ciclo cardíaco, 561-563
desarrollo, 783
envejecimiento, 603
estructura de la pared, 550-551. *Véase también* Miocardio
funciones endocrinas, 518
hormonas producidas, 508
infección e inflamación, 554
orientación, 552
posición, 549, 552
soplo, 558, 568
tejido muscular. *Véase* Miocardio
válvulas, 556-558
vasos sanguíneos, 558-561
Cordón(es)
espermáticos, 715
esplénicos, 624
medulares, ganglios linfáticos, 617
sexuales primarios, 793, 795
umbilical (tallo umbilical), 755, 790
Corion, 755
Córnea, 492
Cornete(s), 632
nasales, inferior/medio/superior, 147, 150, 157
Coroides, ojo, 496
Corona radiada, 731, 748
Coronariografía, 560
Coronariopatía, 560-561, 568
Corpúsculos
laminares, 97, 475
táctiles, 97, 475
tímicos, 622
«Corto», denominación de los músculos, 254
Corteza
auditiva, 400
cerebral. *Véase* Cerebro
ganglios linfáticos, 617
glándula suprarrenal. *Véase* Glándula suprarrenal
gustativa, 400
hueso, 116
motora primaria, 398
neural, 342, 357
olfativa, 400
ovario, 727
pelo, 98
prefrontal, 400, 444
renal, 694
sensitiva primaria, 398
timo, 622
visual, 398
Corti, órgano, 489, 490
Corticoesteroides, 516
Corticosterona, 517
Corticotropina (ACTH), 511, 512
Corticótropos, 512, 513
Cortisol, 517
Cortisona, 517
Costillas, 168-170, 769
falsas, 169
flotantes, 169
verdaderas, 168
vertebrocondrales, 169
vertebroesternales, 168
Costra, 104, 108
Cowper, glándulas. *Véase* Glándulas bulbouretrales
Craneal, 16
Cráneo, 135, 142-148, 156-157, 392
agujeros y fisuras, 155
articulaciones, 221
características superficiales, 156-158
cartilaginoso del embrión, 766
desarrollo, 766-767
diferencias sexuales, 201
fosas, anterior/media/posterior, 148, 149
lactante, 158, 159
meninges, 362, 389-393
problemas de crecimiento, 155
recién nacido, 766
sección
horizontal, 140
sagital, 141
subdivisión
craneal, 135, 142-148, 156-157
facial, 135, 142, 148, 150-154, 157-158. *Véase también* Huesos faciales
vista
anterior, 138
inferior, 139
lateral, 137
posterior, 136
superior, 136
Craneoestenosis, 155, 171
Creatina, 710
Crecimiento
aposicional
cartílago, 69
hueso, 119, 122
intersticial, 69, 118
Cresta(s), 128
del cornete, 150
etmoidal, 150
fémur, intertrocantérea, 193
frontal, 142, 156
hueso
coxal, ilion/pubis, 186
frontal, 142, 156
palatino, cornete/etmoidal, 150
ilíaca, 186
interarticular, costillas, 169
intertrocantérea, 193
mitocondria, 38
nasal, 150
neural, 74, 775
occipital, 142, 156
oído interno, 484
sacra, lateral/medial, 168
supracondílea, medial/lateral, 196
Cretinismo, 522
Criptas intestinales (de Lieberkühn), 674
Criptorquidia, 743
Crisis tirotóxica, 526
Crista galli, 147, 157
Cristalino, 499
Crohn, enfermedad, 689
Cromátidas, 46
Cromatina, 29, 40
Cromosoma, 40
hijo(s), 47
Crónico, 688
Cruz, pene, 725
Cuadrante(s)
abdominopélvicos, 15, 23
inferior
derecho (CID), 15
izquierdo (CII), 15
superior
derecho (CSD), 16
izquierdo (CSI), 15
Cuádriceps femoral (músculo cuádriceps), 255-256, 307
Cuadriplejía, 367, 380, 383
Cubierta acrosómica (acrosoma), 721
Cúbito, 179, 181-183, 222
cabeza, 179
escotadura
radial, 181, 219
troclear, 179
Cuello
diente, 664
marcas óseas, 128
costilla, 169
escápula, 176
fémur, 193
húmero, anatómico/quirúrgico, 179
radio, 181
óseo, 19
región corporal
anatomía
seccional, 633-634
superficial, 328-329
arterias, 585, 586
drenaje linfático, 618
huesos, 163-164
músculos, 266, 269-272, 285
nervios, 372
uterino, cáncer, 733
vejiga urinaria, 705
vesícula biliar, 683
Cuerdas vocales
falsas, 636
verdaderas, 636
Cuero cabelludo. *Véase* Epicráneo
Cuerpo(s)
albicans, 730, 732
amarillo, 521, 730, 731
amigdaloideo, 401
aórtico, 475
basal, 37
calloso, 401
carotídeos, 475
cavernosos, 725
celular, neurona, 77, 344
ciliar, 496
costilla, 170
epidídimo, 722
escápula, 176
esfenoides, 146
esponjoso, 725
esternón, 170
estómago, 668
de inclusión, 36
lengua, 663
mamilares, 401, 401, 407
mandíbula, 151
metacarpiano, 184
músculo, 251
páncreas, 684
pene, 725
polar, 731
ungueal, 103
útero, 733
vertebral, 161
vesícula biliar, 683
vítreo, 493, 499
Cúpula, 484
Curva
cervical, 159-160
lumbar, 159-160
Curvatura(s)
de compensación, columna vertebral, 160
mayor, estómago, 668

menor, estómago, 668
primarias, columna vertebral, 159
raquídeas, 159-160
sacra, 159-160
secundarias, columna vertebral, 160
torácica, 159-160
Cushing, enfermedad, 522
Cúspides, 664
Cutícula
pelo, 98
uña, 103

D

Debilidad muscular, 343
Decidua
basal, 755
capsular, 755
parietal, 755
Dedo(s)
en garra, 201
gordo, 199
huesos, 185-186
músculos, 294-301
del pie. *Véase* Pie
Defecación, 656
reflejo, 680
Defectos del tubo neural, 167, 776
Degeneración walleriana, 352-353
Deglución, 636-637, 666-667
fase
bucal, 667
esofágica, 667
faríngea, 667
Delirio, 446, 448
Demencia, 446, 448
senil (senilidad), 447
Dendrita(s), 77, 341, 342, 344
axoaxonal, 354
axosomática, 354
Dentición primaria, 666
Dentina, 664
Depresión (movimiento), 211, 212
Derivación(es), 397, 704
electrocardiograma, 566
gástrica, 689
Dermatitis, 108
por contacto, 108
del pañal, 108
seborreica, 102, 108
Dermatomas, 370, 371
Dermis, 95-97
arrugas, 96
capas, 89, 90, 95
desarrollo, 764
envejecimiento, 106
estructura, 68
inervación, 97
líneas de división, 96
marcas de distensión, 96
vascularización sanguínea, 97
Derrame, 73, 84
pericárdico, 73
pleural, 73, 652
Desarrollo
aparato
digestivo, 661, 759, 789-790
respiratorio, 787-788
aspectos generales, 748
columna vertebral, 768-769
corazón, 783
cráneo, 766-767
definición, 3, 748
embrionario, 748
encéfalo, 387, 388, 777-778
epitelios, 80
errores, 750
esqueleto de las extremidades, 117-118, 119, 770-771
fetal, 748
hueso, 117-124, 388
médula espinal, 768-769, 775-776
músculos, 772-773
oídos, 758, 780
ojos, 758, 779
órganos de los sentidos, 758, 779-780
posnatal, 748
preembrionario, 748-749
prenatal, 748, 758-759
primer trimestre, 750-757
segundo trimestre, 757-760
tercer trimestre, 757-760
órganos y sistemas, 82-83
sistema/aparato
cardiovascular, 783-785
endocrino, 759, 781-782
linfático, 786
nervioso, 774
reproductor, 759, 793-795
tegumentario, 764-765
urinario, 791-792
tejidos, 79
conjuntivos, 64, 81
visión, 758, 779
Descenso, testículos, 715, 717
Desfibriladores, 564-565
externos automatizados (DEA), 565
Desgarro raquídeo, 367
Deslizamiento
del disco, 216
de los filamentos, teoría, contracción muscular, 245-246
Desmielinización, 357
trastornos, 352
Desmosoma *(macula adherens)*, 45
Diabetes
del adulto, 526
insípida, 512, 526
juvenil. *Véase* Diabetes mellitus dependiente de la insulina
mellitus
definición, 526
dependiente de la insulina (DMDI), 526
independiente de la insulina (DMII), 526
sistema nervioso autónomo (SNA), 465
tipo I. *Véase* Diabetes mellitus dependiente de la insulina
tipo II. *Véase* Diabetes mellitus independiente de la insulina
Diáfisis (tallo), 115, 116
cúbito, 179
húmero, 179
pelo, 98
pene, 725
Diafragma, 18, 170, 276, 278, 279, 647
pélvico, 281
de la silla turca, 391
urogenital, 281
Diagnóstico, 4, 23
Diálisis (hemodiálisis), 704, 711
líquido, 704
máquina, 704
peritoneal, 704
ambulatoria continua (DPAC), 704
Diapédesis, 538
Diarrea, 688, 689, 710
Diartrosis, 206. *Véase también* Articulaciones sinoviales
Diástole, 561
Diencéfalo, 777
anatomía macroscópica, 148, 409
embriología, 387, 388
epitálamo, 405
funciones, 387-389
hipotálamo. *Véase* Hipotálamo
tálamo, 405-406
Diente(s), 164, 664-666
anatomía macroscópica, 664-665
bicúspides, 664
caninos, 664
corona, 664
de leche, 666
marco dental de referencia, 666
masticación, 664, 666
sucesión dental, 666
tipos, 664-665
Diferenciación, 13, 748
Diferencias sexuales
esqueleto, 201
pelvis, 193
Difteria, 352
Difusión, 32, 34
facilitada, 32, 34
Digestión, 13
Dimenhidrinato, 487
Dióxido de carbono, hemoglobina, 536
Díploe, 126
Direcciones anatómicas, 16
anterior, 16
cefálica, 16
distal, 16
dorsal, 16
lateral, 16
medial, 16
profunda, 16
Disco(s)
articulares. *Véase* Meniscos (discos articulares)
herniado, 216, 233
intercalados, 75, 550, 551
intervertebrales
anatomía macroscópica, 161, 214-215
articulaciones, 206, 221
funciones, 214
herniados, 216
nota clínica, 216
táctiles, 97, 473
Discos Z, 244
Dislexia, 444, 448
del desarrollo, 444
Dismenorrea, 735
Dismetría, 414, 427
Displasia, 84
«Distal», marco dental de referencia, 666
Distrofia muscular, 257
Disuria, 708, 711
Divergencia, 355
Diverticulitis, 687
Divertículo metanéfrico (esbozo ureteral), 792
Diverticulosis, 689
División, 79, 749, 751
aferente, sistema nervioso periférico, 341
celular, 45
craneosacra, sistema nervioso autónomo. *Véase* División parasimpática (craneosacra), activación del sistema nervioso autónomo
de «descanso y reposo». *Véase* División parasimpática (craneosacra), activación del sistema nervioso autónomo
eferente, sistema nervioso periférico, 341
líneas, piel, 96
parasimpática (craneosacra), activación del sistema nervioso autónomo, 462
aspectos generales, 452, 460, 462
componentes, 453, 460-464
funciones, 462
reflejo visceral, 466
relación con la división simpática, 463-464
simpática (toracolumbar), sistema nervioso autónomo
aspectos generales, 452, 453, 454, 459
funciones, 458-459
ganglios
de la cadena simpática, 454-456
colaterales, 455, 456-457
médula suprarrenal, 458
reflejo visceral, 466
relación con la división parasimpática, 463-464
surco, 47
toracolumbar, sistema nervioso autónomo. *Véase* División simpática (toracolumbar) sistema nervioso autónomo
Dolor
agudo, 473
de aparición rápida, 472
crónico, 473
lento, 472
referido, 472, 473, 503
Dopaje con sangre, 54
Dopamina, 410
«Dorsal largo», denominación de los músculos, 254
Dorsiflexión, 211
Dorso
lengua, 663
nariz, 632
Duodeno, 674, 676-677
Duramadre, 362, 391

E

Eccema, 108
Ecografía, 22
Ectodermo
derivados, 83, 753
formación, 79, 753
Edema periorbitario, 524
Efecto placebo, 473
Efector, 341, 342
Ecografía, 22, 23, 526
Eicosanoides, 509
Ejercicio, tolerancia, envejecimiento, 256
Elastina, 64
Electrocardiograma (ECG), 566, 567, 626
Elevación, 211, 212
Embarazo
crecimiento del útero y el feto, 761
desarrollo de las mamas, 739-740
ectópico, 796
primer trimestre. *Véase* Primer trimestre
segundo trimestre, 749, 757, 758-761
teratógenos, 751
tercer trimestre, 749, 757, 758-761
Embolia, 544
pulmonar, 603, 605, 652
Embriogenia, 751, 755

Embriología, 3, 748
  aspectos generales
    aparato
      digestivo, 789-790
      respiratorio, 787-788
    columna vertebral, 768-769
    corazón, 783
    cráneo, 766-767
    encéfalo, 777-778
    epitelios, 80
    esqueleto de las extremidades, 770-771
    médula espinal, 768-769, 775-776
    músculos, 772-773
    órganos
      sensoriales, 779-780
      y sistemas, 82-83
    sistema/aparato
      cardiovascular, 784-785
      endocrino, 781-782
      linfático, 786
      nervioso, 774
      reproductor, 793-795
      tegumentario, 764-765
      urinario, 791-792
    tejidos, 79
      conjuntivos, 81
Embrión, 755
  desarrollo, 748
Eminencia
  frontal, hueso frontal, 142
  parietal, 142, 156
Emulsiones perfluoroquímicas (PFQ), 543
Enanismo
  acondroplásico, 123
  hipofisario, 123, 130, 513
Enartrosis, 212
Encéfalo
  anatomía macroscópica, 387, 388, 397, 399
  barrera hematoencefálica, 344, 391-394, 395
  bulbo raquídeo. *Véase* Bulbo raquídeo
  cerebelo. *Véase* Cerebelo
  cerebro. *Véase* Cerebro
  complejidad, 387
  desarrollo, 387, 388, 777-778
  diencéfalo. *Véase* Diencéfalo
  líquido cefalorraquídeo. *Véase* Líquido cefalorraquídeo (LCR)
  meninges craneales, 362, 389, 392, 393
  mesencéfalo. *Véase* Mesencéfalo
  organización de la sustancia
    blanca, 389
    gris, 389
  pares craneales. *Véase* Pares craneales
  protuberancia. *Véase* Protuberancia
  proyecciones para visualización, 408
  regiones y zonas, 387-389
  vascularización sanguínea, 395, 586-587
  venas, 593-595
  ventrículos, 389, 390
Encías, 662
Endocardio, 550
Endocarditis, 554
Endocitosis, 33-34
  mediada por receptor, 33-34
Endodermo
  derivados, 83, 753
  formación, 79, 753
Endolinfa, 482
Endometrio, 734
Endometriosis, 743
Endomisio, 238
Endoneuro, 369
Endoprótesis coronaria, 560, 561
Endosomas, 33
Endotelio, 55
Enfermedad(es), 6, 23
  por almacenamiento lisosómico, 42
  cerebrovasculares, 48, 395, 448
  hemolítica del recién nacido, 544
  inflamatoria pélvica (EIP), 743
  por inmunodeficiencia, 626
  intestinal inflamatoria, 687-689
  de la membrana hialina (EMH), 647
  pulmonar obstructiva crónica (EPOC), 643
  por reflujo gastroesofágico (ERGE), 666
  respiratorias, 652
  de transmisión sexual (ETS), 743
Enfermedad/trastorno autoinmunitario, 524, 626, 688
Enfisema, 89, 643, 652
Enteritis, 689
Entrenamiento de intervalo, 250
Envejecimiento
  aparato
    digestivo, 687
    respiratorio, 650
  articulaciones, 229, 231
  ovogenia, 732
  percepción
    gustativa, 479
    olfativa, 478
  sistema/aparato
    cardiovascular, 603
    endocrino, 523
    esquelético, 125-126, 202
    linfático, 625
    muscular, 256, 323-324
    nervioso, 447-448
    tegumentario, 106
    urinario, 708
  tejidos, 77
Enzima(s)
  conversora de la angiotensina, 646
  líquido seminal, 725
  pancreáticas, 686
  proteolíticas, 686
Eosinófilos, 63, 68, 534, 539
Epéndimo, 345, 347, 387, 774, 775
Epiblasto, 753
Epicardio. *Véase* Pericardio visceral
Epicóndilo
  fémur, medial/lateral, 196
  húmero, medial/lateral, 179
  medial, 196
Epicráneo, 264, 266
Epidermis, 90-94
  capas, 89, 91-92
  color, 93
  contenido de pigmento, 94
  desarrollo, 764
  envejecimiento, 106
  estructura, 90-92
  piel
    fina, 93
    gruesa, 93
  surcos, 93, 94
  tipos de células, 90
  vascularización sanguínea, 93
Epidídimo, 722, 723
Epífisis, 115, 116
  barrera hematoencefálica, 394
  fractura, 129
  funciones endocrinas, 508, 521
Epiglotis, 635
  aguda, 635
Epimisio, 238
Epineuro, 369
Epiplón
  mayor, 660
  menor, 660
Episiotomía, 762
Epistaxis, 652
Epitálamo, 387, 405
Epitelio, 52
  capsular (parietal), glomérulo renal, 699
  ciliado, 53-54
  cilíndrico, 57
    estratificado, 57
    seudoestratificado, 57-58
      ciliado, 58
    simple, 57
  cúbico, 56-57
    estratificado, 56, 57
    simple, 56
  escamoso simple, 55
  estratificado, 55
  germinal, 727
  glandular
    estructura, 59-60
    funciones, 53, 58-59
    modos de secreción, 60-61
    tipos de secreción, 59
  glomerular, 699
  intestinal, 674
  mucoso, aparato digestivo, 656
  no queratinizado, 56
  olfativo, 477
  parietal (capsular), 699
  plano, 55-56
    estratificado, 55, 56
  queratinizado, 56, 92
  respiratorio, 631-632
  simple, 55
  transicional, 58
  visceral (glomerular), 699
Epónimos, 13
Eponiquio, 103
Epstein-Barr, virus (VEB), 622
Equilibrio, 482-487, 780
Equimosis óseas, 292, 324
Erección, pene, 725
Erisipela, 108
Eritema, 108
Eritroblastos, 543
Eritrocitos
  abundancia, 534
  apilados, 535
  ciclo vital y circulación, 535-536
  concentrado, 531, 544
  estructura, 534-535
  funciones, 68, 532, 534
  hemoglobina, 536
  histología, 68, 535
Eritrocitosis, 535
Eritropoyesis, 543
Eritropoyetina (EPO), 518, 543, 703
Erupción, diente, 666
Esbozo(s)
  del pulmón, 787
  ureteral (divertículo metanéfrico), 792
Escama, 145, 156
Escápula, 176, 178, 179, 222
Escarificación, 104-105
Escherichia coli, 708, 710
Esclerosis
  lateral amiotrófica (ELA), 440
  múltiple, 352, 380, 383
Esclerótica, 493, 524
Esclerótomo, 768
Escoliosis, 161, 171
Escopolamina, 93, 487
Escotadura. *Véase también* Agujeros
  acetabular, 186
  cardíaca, pulmón, 640
  ciática, mayor/menor, 186
  cintura pélvica, acetabular, 186, 223
  cúbito
    radial, 179, 219
    troclear, 179
  escápula, supraescapular, 179
  esternón, yugular, 170, 176
  hueso
    coxal, ciático mayor/menor, 186
    frontal, supraorbitario, 142, 155, 156
  ilíaca, 186
  mandibular, 151
  radial, cúbito, 179, 219
  supraescapular, escápula, 179
Escotomas, 503
Escroto, 715, 715-718
Esfenoides, 146-147, 155, 157
Esfínter (músculo circular), 252
  anal, interno/externo, 281, 679
  esofágico, superior/inferior, 667
  hepatopancreático (de Oddi), 683
  pilórico, 668
  precapilar, 575
  uretral, interno/externo, 281, 705, 707-708
Esguince, 201, 202, 292, 324
Esmalte, 664
Esmegma, 725
Esofagitis, 666, 689
Esófago
  anatomía macroscópica, 667
  histología, 667-668
  vascularización sanguínea, 667
Espacio(s)
  capsular, 699
  epidural, 36
  perinuclear, 39
  porta (tríadas hepáticas), 681
  subaracnoideo, 365, 391
  subdural, 365, 391
Espalda
  anatomía superficial, 330
  huesos, 158-170
  músculos, 273-275, 286-287
Espasticidad, 410, 427
Esperma, 715
Espermátides, 719
Espermatocitos, primarios/secundarios, 719
Espermatogenia, 718
Espermatogonias, 718
Espermatozoides, 719, 721
Espermiogenia, 719, 721
Espículas, 115, 118
Espina
  bífida, 167, 171, 776
  dendrítica, 344
  de la escápula, 179
  del hueso esfenoides, 147
  ilíaca inferior/superior
    anterior, 186
    posterior, 186
  isquiática, hueso coxal, 186
Esplenectomía, 627
Esplenomegalia, 627
Espolones óseos, 232, 233

Esqueleto
de la cabeza y del tronco, 134, 135, 221
articulaciones, 206-211. *Véanse también las articulaciones específicas*
columna vertebral. *Véase* Columna vertebral
cráneo. *Véase* Cráneo
jaula torácica, 168-170, 769
de las extremidades, 175-200
aspectos generales, 175-176
cintura
escapular, 176-179, 222
pélvica, 186-193
desarrollo, 770-771
miembro
inferior, 193-200
superior, 179-186
fibroso, corazón, 550
Estado vegetativo crónico, 446
Estenosis valvular, 568
Estereocilios, 53
Estéril, 748
Esternón, 170, 222
escotadura yugular, 170, 176
Esteroides corticosuprarrenales (corticoesteroides), 516
Estetoscopio, 558
Estimulación eléctrica funcional (EEF), 383
Estímulo motor primordial (músculo), 253
Estómago
anatomía macroscópica, 668-671
cardias, 668
histología, 671-673
mesenterios, 671
regulación, 673
vascularización sanguínea, 671
Estradiol, 512, 521, 731
Estrato
basal, 91
espinoso, 91
germinativo, 91
granuloso, 91-92
lúcido, 91, 92
Estrecho pélvico
inferior, 193
superior, 193
Estreñimiento, 689, 742
Estría primitiva, 81, 753
Estriado, 75
Estribo, 482
base, 482
Estrógenos
crecimiento óseo, 124
funciones, 731
producción
excesiva, 523
insuficiente, 523
secreción, 512
transdérmicos, 93
Estroma, 64
Estructuras accesorias
aparato digestivo, 656
articulaciones sinoviales, 208
ojo, 491-493
sistema/aparato
reproductor masculino, 723-725
tegumentario, 89, 90, 96, 98-103
Estupor, 446
Etapa placentaria, parto, 762
Etmoides, 147, 148, 155, 157
Eupnea, 648-649
Eustaquio, trompa. *Véase* Meato acústico (conducto auditivo), interno/externo
Eversión, 211, 212
Excitabilidad, 353
Excreción, 13
Exhalación, 648
Exocitosis, 42
Exoftalmos, 526
Expresión facial, músculos, 264-266, 773
Extensión, 179, 210, 211
«Externo», denominación de los músculos, 254
Exterorreceptores, 351
Extremo esternal, clavícula, 176
«Extrínseco», denominación de los músculos, 254
Eyaculación, 723, 725
Eyaculado, 725

F

F, actina, 244
Factor(es)
activador de los osteoclastos, 126, 130
estimuladores de colonias (CSF), 543
intrínseco, 673
neurotrópicos, 344
Fagocitosis, 33
Fagosoma, 33
Falanges
mano, 185, 184, 222
pie, 199, 225
Fallot, tetralogía, 602
Faringe
deglución, 636-637, 666-667
músculos, 269-270, 666
regiones, 634
Fascia, 74-75, 318, 694
de fusión, 660
intermuscular, 75
profunda, 74-75, 238, 318
renal, 694
subserosa, 75, 318
superficial, 74, 318
Fascículo(s), 238. *Véase también* Tractos
cuneiforme, 432, 433
grácil, 432, 433
longitudinales, 400, 401
Fase G_0, 45
Fase G_1, 45
Fase G_2, 46
Fauces, 634, 662
Fecundación, 715, 733, 748-749
Fémur, 116, 193-196, 225
Feromonas, 102
Feto, cambios en el nacimiento
cardiovasculares, 599-603, 763
respiratorios, 649, 763
Fibras
aferentes, 351
arqueadas, 400, 401
blancas. *Véase* Fibras musculares de contracción rápida (blancas)
de colágeno, 64
comisurales, 400, 401
de conducción, 561
eferentes, 351
elásticas, 64
fusiformes, 46
intermedias, 250
musculares, 75
de contracción
lenta (rojas), 249, 250
rápida (blancas), 249, 250
nerviosas, 77
cerebelosas, 414
perforantes (Sharpey), 117
posganglionares, 351, 452
preganglionares, 351, 452
de proyección, 400, 401, 434
reticulares, 64
rojas. *Véase* Fibras musculares de contracción lenta (rojas)
de tejido conjuntivo, 63-64
transversas, protuberancia, 412
zonulares. *Véase* Ligamento suspensorio, ojo
Fibrilación
auricular, 564
ventricular, 564
Fibrina, 104
Fibrinógeno, 533
Fibroblastos, 62, 63
Fibrocitos, 62, 63, 572
Fibroma, 78
Fibromialgia, 240
Fibrosis, 256, 257
quística (FQ), 632, 652
Fijación
intercelular, 43-45
tejido epitelial, 52
Filamentos
finos, 243, 244
gruesos, 36, 243, 244
intermedios, 35, 36
Filtrado glomerular, 698
Filtro solar, 96
Filum terminal, 362
Fimbrias, trompa uterina, 732
Fisura(s)
horizontal, pulmón, 638
inferior/superior, órbita, 148, 155, 157
longitudinal, cerebro, 387, 396
marcas óseas, 128
mediana, anterior, 362
orbitarias, inferior/superior, 147, 155, 157
palpebral, 491
primaria, cerebelo, 412
Flagelos, 37, 38, 721
Flexión, 179, 210
lateral, 211
plantar, 211
Flexores espinales, 274, 275
Flexura(s), 777
cólica, derecha/izquierda, 679
duodenoyeyunal, 674
hepática, 679
sigmoidea, 679
Flujo de membrana, 43
Foliculitis, 100
Folículo(s)
atrésicos, 730
ováricos, 721, 727, 727-731
maduro, 731
primordial, 727
piloso
desarrollo, 765
estructura, 9, 97, 98
sebáceos, 100
secundario, 731
terciario, 731
tiroideos, 513, 514
Fondo
estómago, 668
vesícula biliar, 683
Fontanela(s), 158, 159
anterior, 158
esfenoidales, 158
mastoideas, 158
posterior, 158
Formación
de la cara, 42
reticular, 404, 411
Fórnix
fondo de saco vaginal, 736
ojo, 492
trígono cerebral, 401
Fosa, 128
cintura pélvica, acetabular, 186
coronoidea, húmero, 179
craneal, 148
anterior/media/posterior, 148
escápula
glenoidea, 176
infraespinosa, 179
subescapular, 176
supraespinosa, 179
hipofisaria, esfenoides, 147
hueso
coxal, ilíaca, 186
frontal, lagrimal, 142, 156
temporal, yugular, 146
húmero
coronoidea, 179
olécranon, 179
radial, 179
ilíaca, hueso coxal, 186
incisiva, maxilar, 148
infraespinosa, escápula, 179
mandibular, 145, 156
hueso temporal, 145, 156
maxilar, incisiva, 148
del olécranon, húmero, 179
oval, 554, 783
radial, húmero, 179
subescapular, escápula, 176
submandibular, 151
supraclavicular, 604
supraespinosa, escápula, 179
yugular, hueso temporal, 146
Fositas gástricas, 671
Fotorreceptores, 498
Fóvea
central, 498
fémur, 193
retina, 498
Fractura
abierta (compuesta), 129
bailarín, 201, 202
cadera, 323-324
cerrada (simple), 129
clasificación, 129
complicada (abierta), 129
por compresión, 129
conminuta, 129
definición, 130
con desplazamiento
definición, 129
subcapital, 324
sin desplazamiento, 129
escafoidea, 184
espiral, 129
reparación, 125
simple (cerrada), 129
por sobrecarga, 292, 324
en tallo verde, 129
transversa, 129
Frecuencia cardíaca, 566-567
Frenillo lingual, 663
Fulcro, 254
Forúnculo, 100
Fusión ósea, 207

G
G, actina, 244
G, células, 673
Gametos (células germinales), 27, 45, 715
Ganglio(s)
  autonómico, 370
  celíaco, 456
  ciliar, 420, 462
  colaterales, 455, 456-457
  espiral, 486
  estrellado, 454
  geniculado, 423
  impar, 454
  inferior, nervio
    glosofaríngeo, 424
    vago, 425
  intramurales, 452
  linfáticos, 616-622
    abdominales, 620
    axilares, 620
    cervicales, 620
    inguinales, 620
    intestinales, 620
    mesentéricos, 620
    poplíteos, 620
    torácicos, 620
  mesentérico
    inferior, 457
    superior, 457
  ótico, 462
  pterigopalatino, 462
  de la raíz dorsal, 362
  semilunar, 421
  submandibular, 462
  superior, nervio
    glosofaríngeo, 424
    vago, 425
  terminales, 452
  vestibulares, 485
  yugular, 425
Gangliones, 342, 346, 359
Gangliósidos, 448
Gastrectomía, 689
Gastrina, 673
Gastritis, 673, 689
Gastroenteritis, 689
Gastroscopio, 689
Gastrulación, 753
Gen de supresión tumoral (GST), 48
Genitales externos, 715
  femeninos, 738-739, 795
  masculinos, comparación con los femeninos, 795
Gestación, 749
Gigantismo, 123, 130
Gínglimo, 212, 213
Glande, pene, 725
Glándula(s). *Véanse también las glándulas específicas*
  acinar, 60
  alveolar, 60, 100
    ramificada simple, 100
    simple, 100
  bulbouretrales, 724, 725
  ceruminosas, 101, 103, 480
  compuestas, 60
  endocrinas mixtas, 59
  estructura, 59-60
  exocrinas
    clasificación, 59
    desarrollo, 80, 765
    estructura, 59-60
    funciones, 58
    modos de secreción, 60-61
    multicelulares, 59
    sistema tegumentario, 100-102
gástricas, 673
lagrimal, 142, 492
modos de secreción, 60-61
mucosas, 59
multicelulares, 59
olfativas (de Bowman), 477
paratiroideas, 508, 515, 516, 526
parauretrales (de Skene), 738
piel, 100-103
pituitaria. *Véase* Hipófisis
prepuciales, 725
salivales, 151, 663-664
  sublinguales, 664
  submandibulares, 151, 664
sebáceas, 100-101, 765
seminales (vesículas seminales), 723, 724
serosas, 59
simple, 60
submucosas duodenales (glándulas de Brunner), 676
sudoríparas, 102-103
  apocrina, 101, 102
  ecrinas (merocrinas), 101, 102
suprarrenal
  anatomía macroscópica, 516, 517
  corteza, 516-517
  desarrollo, 782
  histología, 517
  hormonas producidas, 508
  médula, 455, 458, 516
  métodos diagnósticos, 526
  músculo, 518
  tarsal, 491
  tipos de secreción, 58-59
  tubulares, 60
  tubuloacinares, 60
  tubuloalveolares, 60, 723
    compuestas, 60, 723
  unicelulares, 59
  vestibular, menor/mayor, 739
Glaucoma, 499
Glioma, 78
Globo pálido, 401
Globulinas, 533
Glóbulos rojos. *Véase* Eritrocitos
Glomérulo, 698, 702
  renal, 698, 699-700, 702
Glotis, 634
Glucagón, 520
Glucocáliz, 31
Glucocorticoesteroides, 512, 523
Glucólisis anaerobia, 250
Glucosaminoglucanos, 43
Golgi
  aparato, 29, 30, 41-42
  órganos tendinosos, 475
Gonadótropas, 512, 513
Gonadotropina(s), 513
  coriónica humana (HCG), 741
Gonfosis, 206, 664
Gonorrea, 743
Graaf, folículo, 731
Gradiente de concentración, 32
Granulaciones aracnoideas, 291, 395
Granulocitos (leucocitos granulares), 534, 538, 539
Grapado gástrico quirúrgico, 689
Grasa
  orbitaria, 493
  pararrenal, 694
  perinéfrica (perirrenal), 694
Grupo respiratorio
  dorsal, 649
  ventral, 649
Gubernáculo testicular, 715
Gusto, 478-479, 758, 779

H
H, banda, 243
Haploide, 719
Hashimoto, tiroiditis, 524-526
Haustra, 677
Havers
  canal (central), 113
  sistema, 113
Heces, 656
Heimlich, maniobra, 637, 652
Helicobacter pylori, 673
Hemangioma
  capilar, 108
  cavernoso, 108
Hematina, 536
Hematocrito, 534
Hematólogos, 543
Hematoma, 394
  de la fractura, 125, 130
  subdural, agudo/crónico, 394
Hematopoyesis, 541-543
Hemidesmosomas, 45
Hemisferio(s)
  categórico (izquierdo), 445
  cerebelosos (corteza cerebelosa), 412-414
  cerebrales. *Véase* Cerebro
  dominante, 445
  no dominante. *Véase* Hemisferio de representación
  de representación, 445
Hemocitoblastos. *Véase* Células progenitoras pluripotenciales
Hemocultivo, 688
Hemodiálisis, 704, 711
Hemofilia, 541, 544
Hemoglobina (Hb), 536
Hemograma completo, 524
Hemólisis, 537
Hemorragia
  epidural, 394, 427
  subdural, 394, 427
Hemorroides, 605, 687
Hemostasia, 541
Hemotórax, 170, 171
Hendidura(s)
  costilla, costal, 170
  esfenoides, óptica, 147
  faríngeas, 781
  de filtración, 700
  hueso coxal, obturador, 186
  húmero
    intertubercular, 179
    radial, 179
  infraorbitaria, maxilar, 148
  lagrimal (surco lagrimal), hueso lagrimal, 151, 155
  nasolagrimal, maxilar, 157
  neural, 774
  obturatriz, hueso coxal, 186
  óptica, esfenoides, 147
  palatina mayor, 150
  radial, húmero, 179
  sináptica, 246
  ungueales, 103
  uña, 103
Henle, asa (asa de la nefrona), 698
Heparina, 63
Hepatocitos, 680
Hernia(s), 279, 282
  diafragmática, 279, 282
  inguinal, 279, 282
Herpes zóster, 89
Hialuronano, 43, 62, 208
Hialuronidasa, 748, 752
Hiato
  esofágico, 667
  sacro, 168
Hidrocéfalo, 398, 427
Hierro, hemoglobina, 536
Hígado
  anatomía macroscópica, 680, 681, 682
  funciones, 680-681
  lóbulo cuadrado, 681
  organización histológica, 681-683, 684
  vascularización sanguínea, 681
  venas, 599-600
Hilio
  ganglio linfático, 617
  hepático, 681
  ovárico, 727
  pulmón, 638
  riñón, 694
Himen, 737
Hiperextensión, 211
Hiperostosis, 123, 130
Hiperpnea, 649
Hiperqueratosis, 92
Hiperreflexia, 383
Hipertensión, 741
Hipertrofia muscular, 249
Hipervolémico, 533
Hipoblasto, 753
Hipocampo, 401
Hipodermis, 74, 90
Hipófisis
  adenohipófisis (lóbulo anterior), 510-513
  anatomía macroscópica, 387, 510
  desarrollo, 782
  histología, 510
  hormonas producidas, 508, 510-511
  métodos diagnósticos, 526
  neurohipófisis (lóbulo posterior), 510
  sistema porta hipofisario, 512
Hiponiquio, 103
Hiporreflexia, 383
Hipotálamo
  anatomía macroscópica, 387, 406, 407
  barrera hematoencefálica, 394
  control endocrino, 509
  funciones, 387, 406, 407, 442
  hormonas producidas, 508
Hipovolémico, 533
His, haz (nódulo auriculoventricular), 558, 562-563
Histamina, 63
Histerectomía, 727, 733
  total, 727
Histerosalpingograma, 734
Histología, 2, 52
Histonas, 40
Hodgkin, enfermedad, 622, 626
Hombro (articulación glenohumeral)
  anatomía superficial, 330
  bolsas sinoviales, 219
  estructura, 217, 218
  huesos, 176-179
  lesiones, 217, 219, 233
  ligamentos, 217
  movimientos, 222
  músculos y tendones, 217, 286, 290, 291-292
  separación, 217, 233

Homeostasis, 6
Homólogo, 737
Homúnculo
  motor, 438
  sensitivo, 435
Hooke, Robert, 27
Hormona(s). *Véanse también las hormonas específicas*
  antidiurética (ADH)
    funciones, 406, 510, 511
    producción
      excesiva, 523
      insuficiente, 512, 523
  aspectos generales, 508
  del crecimiento (GH), 511, 513, 523, 739
  esteroideas, 509
  estimulante
    de la eritropoyesis. *Véase* Eritropoyetina (EPO)
    del folículo (FSH), 511, 512
    de la glándula tiroides (TSH), 511, 512
    de los melanocitos (MSH), 511, 513
  funciones, 59
  inhibidoras (HI), 509
  liberadora(s) (RH), 509
    de gonadotropinas (GnRH), 732
    de tirotropina (TRH), 513
  luteinizante (LH), 511, 513
  paratiroidea (PTH), 124, 515, 523
  peptídicas, 509
  reguladoras, 509
  sexuales. *Véanse* Estrógenos; Testosterona
  tipos, 508-509
Horner, síndrome, 456, 467
Hoz
  cerebelosa, 391
  cerebral, 147, 391
Huesecillos auditivos, 146, 158, 480, 481, 482
Hueso(s). *Véase también* Sistema óseo
  astrágalo, 196, 198
  calcáneo, 199
  carpianos, 184, 185, 222
  cigomático, 145, 151, 155, 157
  clasificación, 126-127
  compacto, 72, 113-116
  comparación con el cartílago, 72
  cornetes, 632
  cortos, 127
  costillas, 169-170, 769
  coxal, 186, 186-191, 225
  cúbito, 179, 181-183, 222
  cuboides, 199
  cuneiforme, 199
  desarrollo y crecimiento
    diámetro, 120-122
    duración, 119-120
    osificación
      endocondral, 118-122
      intramembranosa, 117-119
    regulación, 123-124
  endostio, 116-117
  envejecimiento, 125-126
  escafoides, 184
  escápula, 176, 178, 179, 222
  esfenoidal. *Véase* Esfenoides
  esfenoides, 146-147, 155, 157
  esponjoso, 72, 113-116
  esternón, 170, 222
  estribo, 482
  etmoidal. *Véase* Etmoides
  etmoides, 147, 148, 155, 157
  faciales, 142, 148, 150-154, 157-158
  falanges
    mano, 184, 185, 222
    pie, 199, 225
  fémur, 116, 193-196, 225
  fractura. *Véase* Fractura
  frontal, 142, 144, 155, 156
  ganchoso, 184
  grande, 184
  hioides, 154, 158
  histología, 71-72, 112-113
  huesecillos
    auditivos, 146, 158, 480, 481, 482
    wormianos, 126, 142
  ilion, 186
  inervación, 123
  innominado. *Véase* Hueso coxal
  irregulares, 127
  isquion, 186
  lagrimal, 151, 155, 157
  largos, 126, 127
  lesión y reparación, 125
  mandíbula, 151, 152, 155, 158
  martillo, 482
  maxilar, 148, 150, 155, 157
  membranosos, 117
  metacarpianos, 184, 185
  metatarsianos, 199, 225
  nasal, 150, 157
  navicular, 199
  neumatizados, 127
  occipital, 142, 143, 155, 156
  del oído. *Véase* Huesecillos auditivos
  palatino, 150, 151, 157
  parietal, 142, 143, 156
  periostio, 116-117
  peroné, 196-198, 225
  piramidal, 184
  pisiforme, 184
  planos, 126, 127
  pubis, 186, 193
  radio, 181-184, 222
  remodelación, 124-125
  rótula, 127, 196, 228
  semilunar, 184
  sesamoideo, 127
  sistema linfático, 123, 124
  de las suturas craneales (wormianos), 126, 142
  del talón. *Véase* Calcáneo
  tarso, 198-199, 225
  temporal, 145-146, 155, 156, 481
  tibia, 196, 197-198, 225
  trabecular. *Véase* Hueso esponjoso
  trapecio, 184
  trapezoide, 184
  trastornos congénitos, 123
  vascularización sanguínea, 123, 124
  vértebras, 161-162
  vómer, 151, 157
  wormiano (de las suturas), 126, 142
  yunque, 482
Húmero, 179-181, 222
Humor
  acuoso, 498-499
  vítreo. *Véase* Cuerpo vítreo
Huso(s), 36
  musculares, 249, 475

I

I, banda, 243
Ictus. *Véase* Accidente cerebrovascular (ACV)
Íleon, 674, 677
Ilion, 186
Implantación, 740, 750, 752-755
Implante coclear, 503
Impulso nervioso, 353
Incisión, 104
Incisivos, 664
Inclusiones, 36
Incontinencia, 711
  de esfuerzo, 742
Inervación, 263. *Véanse también las regiones corporales específicas*
  dual, 463-464
Infarto, 565
  de miocardio, 565-566, 568
Infecciones
  por clamidias, 743
  de las vías urinarias, 708, 711
Inferior, 16
Infundíbulo
  hipotálamo, 406
  trompa uterina, 732
Inhalación, 648
Inhibina, 521, 721
Injerto
  cutáneo, 108
  nervioso, 383
Inmunidad
  específica, 540
  humoral (mediada por anticuerpos), 613
  mediada
    por anticuerpos, 613
    por células, 613
Inmunocompetencia, 615
Inmunodeficiencia combinada grave (IDCG), 626
Inmunoglobulinas, 533, 613
Inmunoterapia, 84
Inserción(es)
  músculo, 253
  tendinosas, 279
Insuficiencia
  cardíaca, 568
    congestiva, 89
  válvula, 558
Ínsula, 396
Insulina, 520, 523
Interfase, 45-46
Interneuronas, 352
  excitadoras, 352
  inhibitorias, 352
Interno, 254
Internodos, 345
Interorreceptores, 351
Intestino
  delgado
    anatomía macroscópica, 673-674
    histología, 674-677
    regiones, 674
    regulación, 677
    sostén, 674
  grueso, 677-680
    anatomía macroscópica, 677, 678
    ciego, 677
    colon, 677-679
    funciones, 677
    histología, 679-680
    recto, 679
    regulación, 679-680
  primitivo
    anterior, 789
    posterior, 789
Íntima, 572
«Intrínseco», denominación de los músculos, 254
Inversión, 211, 212
Involuntario, 342
Inyección
  intramuscular, 305
  subcutánea, 98
Iris, 496
Irritabilidad, 6
Islotes pancreáticos, 520, 686
Isotrópico, 243
Isquemia
  coronaria, 560
  definición, 319, 324
  en síndrome compartimental, 319
Isquion, 186
Istmo
  glándula tiroides, 513
  trompa uterina, 732

J

Jaula torácica, 168-170
Jeringa para inyección de adrenalina, 108
Jugo
  gástrico, 673
  intestinal, 677
  pancreático, 686

K

Kupffer, células (células reticuloendoteliales estrelladas), 681
Kwashiorkor, 89

L

Laberinto
  etmoidal, 147, 157
  membranoso, 482
  óseo, 482
«Labial», marco dental de referencia, 666
Labio(s), 662
  inferior, músculos, 266
  leporino, 767
  mayores, 739
  menores, 738
  superior, músculos, 266
Lactancia, 739
Lactante, cráneo, 158, 159
Lactógeno placentario humano (HPL), 739, 741
Lactótropas, 513
Lágrimas, glándula. *Véase* Glándula lagrimal
Lagunas
  cartílago, 69
  hueso, 71, 112
  trofoblasto, 752
Lámina(s)
  basal, 54, 699
  cerebelo, 412
  cuadrilátera, 147
  elástica
    externa, 572
    interna, 572
  lúcida, 54
  perpendicular
    hueso palatino, 150
    tabique, 147, 157
  propia de la mucosa
    aparato digestivo, 656, 676
    mucosa, 72
    tráquea, 637
  vertebrales, 214
Laminectomía, 216, 233
Laminillas, 112
  concéntricas, 114
  intersticiales, 114

Langerhans
  células, 91, 106
  islotes. *Véase* Islotes pancreáticos
Lanugo, 98
«Largo», denominación de los músculos, 254
Laringe, 634-637
  cartílagos, 634-636
  ligamentos, 636
  musculatura, 636-637
Laringitis, 652
Laringofaringe, 634
L-DOPA (levodopa), 410
Lecho capilar (plexo), 575-577
Leiomiomas, 78, 743
  uterinos, 743
Leiomiosarcoma, 78
Lemnisco medial, 432
Lengua, 269, 662-663
Lesión(es)
  cerebral traumática (LCT), 391. *Véase también* Traumatismo craneal
  deportivas, 69, 292
Leucemia, 78, 626
Leucocitos
  abundancia, 538
  ciclo vital, 538-539
  funciones, 68, 532
  histología, 539
  polimorfonucleares. *Véase* Neutrófilos
  tipos, 68, 534, 538
Leucocitosis, 538, 688
Leucopenia, 538
Leucopoyesis, 543
Licor folicular. *Véase* Líquido folicular
Lieberkühn, criptas (criptas intestinales), 674
Ligamento(s)
  accesorio, 208
    acetabular, transverso, 223
    acromioclavicular, 217
    ancho, 727
    anular, 219, 637
    capsular, 208
    cardinal, útero, 733
    colateral
      peroneo, 225
      radial, 219
      tibial, 225
  amarillo, 215
  arterioso, 603, 785
  articulación
    de la cadera, 223
    del codo, 219
    esternoclavicular, 216
    del hombro, 217
    de la rodilla, 225
    sinovial, 208
    temporomandibular, 214
    del tobillo, 229
  de la cabeza femoral, 223
  clasificación, 208
  coccígeos, 362
  colateral
    cubital, 219
    peroneo, 225
    radial, 219
    tibial, 225
  coracoacromial, 217
  coracoclavicular, 217
  coracohumeral, 217
  coronario, 681
  costoclavicular, 216
  cruzado
    anterior, 225, 228
    posterior, 225
  cubital colateral, 219
  deltoideo, 229
  dentado, 365
  digitocarpiano, 219
  elásticos, 64, 67, 68
  esfenomandibular, 214
  esternoclavicular, 216
  estilohioideo, 154
  estilomandibular, 214
  extrínseco, 208
  falciforme, 681
  gastrocólico, 679
  gastroesplénico, 623
  glenohumeral, 217
  histología, 64, 67, 68
  humeral transverso, 217
  iliofemoral, 223
  intercarpiano, 219
  interclavicular, 216
  interespinoso, 215
  intervertebrales, 215
  intrínseco, 208
  isquiofemoral, 223
  laringe, 636
  lateral (temporomandibular), 214
    tobillo, 229
  longitudinal, anterior/posterior, 215
  muñeca, 219, 222
  de la nuca, 164
  ovárico, 727
  periodontal, 206, 664
  pubofemoral, 223
  radiocarpiano, palmar/dorsal, 219
  redondo
    hígado, 681
    útero, 733
  rotuliano, 225
  supraespinoso, 215
  suspensorio
    mama, 739
    ojo, 496
    ovario, 727
    útero, 733
  de las suturas (membrana), 206
  tráquea, 637
  umbilical, medial/lateral, 704
  uterosacro, 733
  vestibular, 636
  vocal, 636
Ligandos, 34, 46
Limbo corneal, 495
Línea(s)
  alba, 279
  áspera, fémur, 193
  de división, 96
  epifisaria, 120, 121
  glúteas, hueso coxal, 186
  intertrocantérea, 193
  marcada, 471
  marcas óseas, 128
  milohioidea, 151, 158
  del músculo sóleo, 196
  pectínea, 186, 193
  poplítea, 196
  temporal, inferior/superior, 142, 156
Líneas Z, 243
Linfa, 68, 609
Linfadenopatía, 622, 626
Linfangiograma, pelvis, 620
Linfedema, 611
Linfocitos
  aspectos generales, 534
  citolíticos naturales (NK), 540, 614
  distribución y ciclo vital, 615
  estructura, 68, 534, 539, 540
  funciones, 63, 534, 540, 613
  granulares grandes. *Véase* Linfocitos citolíticos naturales (NK)
  producción, 543, 615
  respuesta inmunitaria, 614-615
  tipos, 613-614
Linfocitos B, 540, 613
  de memoria, 613
Linfocitos T, 540, 613
  citotóxicos, 613
  cooperadores, 613
  de memoria, 613
  supresores, 613
Linfoma(s), 78, 622, 625-626
  de linfocitos B (leucemia de linfocitos B), 626
  no Hodgkin (LNH), 622, 626
Linfoma T (leucemia T), 626
Linfopoyesis, 543, 615
«Lingual», marco dental de referencia, 666
Lipasas
  gástricas, 673
  pancreáticas, 686
Lipoma, 78
Lipoproteínas, 533, 574, 626
  de densidad
    alta (HDL), 626
    baja (LDL), 626
Liposarcoma, 78
Liposucción, 66, 84
Líquido
  amniótico, 755
  cefalorraquídeo (LCR)
    circulación, 394-395, 396
    derivación, 398
    estudio analítico, 366
    formación, 394
    funciones, 345, 365, 394
  extracelular, 29
  folicular, 731
  intersticial, 68, 533, 609
  pericárdico, 550
  peritubular, 703
  pleural, 646
  prostático, 725
  seminal, 725
  sinovial, 74, 207-208
Lisosomas, 29, 30, 42, 43
Lisozima, 492
Litotricia, dispositivo, 685
Lobotomía, 444
  prefrontal, 444
Lobulillos
  pulmón, 640
  testículos, 718
  timo, 622
Lóbulo(s)
  caudado, hígado, 681
  cerebelo, 412
  cerebro, 396-398
  floculonodulares, 412
  frontal, 396, 398
  glándula tiroides, 513
  hígado, 681
  límbico, 401
  occipital, 396, 398
  parietal, 396, 398
  pulmón, 638
  renal, 696
  temporal, 396, 397
  timo, 622
Loperamida, 688
Lordosis, 161, 171
Lubricina, 208
Lumbago, 216
Lúnula, 103
Lupus eritematoso sistémico (LES), 627
Luxación (dislocación), 208, 233
Luz, 38, 100

M

M, fase, 46
M, línea, 243
Macrófagos
  alveolares (células fagocitarias), 646
  espumosos, 574
  fijos, 62, 63
  libres, 63, 533
Mácula
  densa, 703
  oído interno, 485, 486
«Magno», denominación de los músculos, 254
Malaria, 537
Maléolo, lateral/medial, 196
Malformaciones congénitas, 750, 796
Mama(s), 101, 103, 739-740, 765
  cáncer, 739
Mamografía, 739, 740
Mancha
  amarilla *(macula lutea),* 498
  ciega, 498
Mandíbula, 151, 152, 155, 158
  escotadura, 151
Manguito de los rotadores, 217, 290, 324
Mano
  articulaciones, 221, 222
  huesos, 184-186
  músculos, 295-301
  nervios, 373-376
Manubrio, 170
Marcapasos
  artificial, 564-565
  cardíaco (nódulo sinoauricular), 558, 562
  ectópico, 564
Marcas
  anatómicas, 14
  de distensión, 96
  óseas (características de superficie), 127-128
Marco dental de referencia, 666
Marfan, síndrome, 123, 130
Martillo, 482
Masa(s)
  celular interna, 79, 752
  intermedias (unión intertalámica), 405
Mastectomía radical, 742
Masticación, 664, 666
  músculos, 268, 773
Mastocitos, 63
Mastoiditis, 146, 482, 503
  crónica, 482
Materiales digestivos, movimiento, 657-660
Matriz
  hueso, 112
  mitocondria, 38
  nuclear, 40
  pilosa, 98
  tejido conjuntivo, 61
  ungueal, 103
Maxilar, 148, 150, 155, 157
«Máximo», denominación de los músculos, 254
«Mayor», denominación de los músculos, 254

Meato, 128
  acústico (conducto auditivo), interno/externo, 145, 155, 156, 480
  cavidad nasal, 632
Mecanorreceptores, 473-475
Mediastino, 18, 19
  de los testículos, 718
Medicamentos
  administración transdérmica, 93
  betaadrenérgicos, 643
  inyección subcutánea, 98
  sin receta, 742
Médula
  espinal
    anatomía
      macroscópica, 362-365
      seccional (por cortes), 367-368
    desarrollo, 768-769, 775-776
    lesiones, 367
  ganglios linfáticos, 617
  glándula suprarrenal. *Véase* Glándula suprarrenal
  ósea, 113
    amarilla, 113, 116, 543
    roja, 112, 113, 116
  ovario, 727
  pelo, 98
  renal, 694
  timo, 622
Megacariocitos, 540
Meibomio, glándulas (glándulas tarsales), 491
Meiosis, 45, 718-719, 731
Meissner
  corpúsculos. *Véase* Corpúsculos táctiles
  plexo submucoso, 656
Mejillas, 662
Melanina, 62-63, 91, 93, 94
Melanocito, 62-63, 91, 94, 764
Melanoma maligno, 96, 108
Melanosomas, 94
Melatonina, 405, 508, 521
Membrana(s)
  basal, 490
    del folículo ovárico, 98
  celular. *Véase* Membrana plasmática (plasmalema)
  cutánea, 73, 74
  embrionarias, 753-754
  extraembrionarias, 753
  impermeable, 32
  interósea
    antebraquial, 179, 219
    femoral, 196
  libremente permeable, 32
  máquina de diálisis, 704
  mucosa, 72
  nuclear, 29, 39
  con permeabilidad selectiva, 32
  plasmática (plasmalema)
    estructura, 29, 30, 31, 35
    extensiones, 35
    funciones
      aspectos generales, 30, 31-32
      procesos
        activos, 32-33
        pasivos, 32
    receptores, 459, 462
  pleuropericárdica, 788
  postsináptica, 354
  presináptica, 354
  respiratoria, 646
  serosa, 72-73
  sinovial, 73, 74, 207
  tectoria, 490
  timpánica. *Véase* Tímpano
  urogenital, 793
Memoria, 445
Menarquia, 735
Ménière, enfermedad, 487, 503
Meninge(s)
  de la columna vertebral, 362
  craneales, 362, 389-393
  medulares, 362
Meningitis, 383
Meniscectomía, 228, 233
Meniscos (discos articulares)
  articulación
    radiocubital, 219
    de la rodilla, 225
  funciones, 208
Menopausia, 735-736, 741
  prematura, 741
Menor, 254
Menstruación, 735, 736
Mercurio, intoxicación, 352
Merkel
  células, 91, 473
  discos. *Véase* Corpúsculos táctiles
Mesencéfalo
  anatomía macroscópica, 148, 410, 411
  desarrollo, 388, 777
  funciones, 388, 389, 410, 411, 442
  sistema reticular activador, 446
Mesénquima, 64, 81
Mesenterio
  desarrollo, 789
  estómago, 671
  peritoneo, 19, 660-661
  propio, 660, 674
«Mesial», marco dental de referencia, 666
Mesoapéndice, 677
Mesocolon, 660
  sigmoide, 660
  transverso, 660
Mesodermo
  derivados, 83, 753
  formación, 79, 753
Mesonefros, 791
Mesosalpinge, 727
Mesotelio, 55
Mesotelioma, 78
Mesovario, 727
Metabolismo, 13
  aerobio, 250
Metacarpo, hueso, 184, 185
Metafase, 47
Metáfisis, 115, 116
Metales pesados, intoxicación, 352
Metanefros, 791
Metaplasia, 84
Metarteriola, 575
Metástasis, 47, 48, 78
Metatarso, hueso, 199, 225
Metencéfalo, 387, 777
Metil terbutil éter(MTBE), 685
Metoprolol, 561
Mezcla haustral, 679
Miastenia grave, 257
Micción, 694, 708
Microcefalia, 155, 171
Microfilamentos, 35, 36
Microglia, 345
Microscopia electrónica, 2, 27, 28
  barrido, 2, 27, 28
  transmisión, 2, 27, 28
Microscopio óptico, escalas, 2
Microtúbulo(s), 35, 36
  cromosómico, 46, 47
  en la mitosis, 46
Microvellosidades, 29, 30, 35, 53
Mielencéfalo, 387, 777
Mielina, 342, 345
Mielínico, 345
Mielografía, 366, 383
Miembro
  inferior
    anatomía superficial, 334-335
    arterias, 590-592
    articulaciones, 225
    compartimentos, 321-322
    drenaje linfático, 620
    huesos, 186, 193-200
    músculos, 306-318
    nervios, 376-379
    venas, 597-599
  superior, 176
    anatomía superficial, 332-333
    arterias, 583-584
    compartimentos, 318-320
    drenaje linfático, 619
    huesos, 179-186
    músculos, 288-301
    nervios, 373-376
    venas, 595
Migraña, 343
Mineralocorticoesteroides (MC), 516, 523
Mínimo, 254
Mioblastos, 240
Miocardio, 550
  células, 75, 550, 551
  comparación con el músculo estriado, 550
  funciones, 75, 238
  histología, 76, 550
  tejido, 75, 76
Miocardiopatías, 568
Miocarditis, 554
Miofibrillas, 243
Miofilamentos, 243
Mioma, 78
Miometrio, 734
Miosina, 36, 75
Miosis, 651
Miositis osificantes, 118
Miótomo, 772
Miringotomía, 482, 503
Mitocondria, 29, 30, 35, 38, 39
Mitosis, 46-48
  tasa, 47-48
Mixedema, 526
Moco, 59, 60
  escalera de eliminación, 632
Modíolo, 486
Molares, 664
Moldes, 707
Moléculas de adhesión celular (CAM), 43
Monocitos, 63, 68, 534, 539
Monocitos-macrófagos, sistema, 540
Monro, agujero (intraventricular), 389, 394
Monte del pubis, 739
Mórula, 751
Movimiento(s)
  angular, 209-211
  descripción, 209
  de deslizamiento, 209
  lineal, 209
  de masas, 680
  pasivo continuo (MPC), 233
  tipos, 209-212
Mucinas, 59, 664
Mucosas, 72, 73
  aparato digestivo, 656
  esófago, 667
  oral, 662
  tráquea, 637
Muelas del juicio, 666
Muñeca
  anatomía superficial, 333
  articulaciones, 219, 222
  estabilidad, 219
  huesos, 184, 185
  ligamentos, 219, 222
  músculos, 293-295
Muscular
  externa, estómago, 657, 668
  de la mucosa, 656
Musculatura
  de la cabeza y del tronco, 262-281
    cabeza y cuello, 263-272
    columna vertebral. *Véase* Columna vertebral
    desarrollo, 772-773
    diafragma pélvico, 279-281
    grupo
      oblicuo, 275-279
      recto, 275-279
    perineo, 279-281
  de las extremidades, 285-318
    antebrazo y mano, 293-296
    aspectos generales, 285
    brazo, 288-292
    cintura
      escapular, 285-289
      pélvica, 302-306
    desarrollo, 772-773
    función, 285
    mano y dedos de la mano, 295-301
    pie y dedos del pie, 309-318
    pierna, 307-311
    superficial, 262-263
    variaciones individuales, 200-202
Músculo(s)
  abductor
    corto del pulgar, 297, 299
    del dedo gordo, 311, 318
    largo del pulgar, 299
    del meñique, 297, 299, 318
  aductor(es), 193, 303
    corto, 303
    del dedo gordo, 311, 318
    largo, 303
    mayor, 303
    del pulgar, 297, 299
  ancóneo, 293, 294
  atrofia, 249
  bíceps
    braquial, 176, 179, 181, 219, 251, 252, 285, 290, 293
    femoral, 308, 309
  bipenniforme, 252
  braquial, 293, 294
  braquiorradial, 285, 293, 294
  buccinador, 254, 264, 266, 662
  bulboesponjoso, 281
  cigomático
    mayor, 266
    menor, 266
  ciliar, 496
  circular (esfínter), 252
  coccígeo, 281
  constrictores, 270
    de la faringe, 269-270
  coracobraquial, 288, 290
  corrugador de la ceja, 266

Músculo(s) *(cont.)*
cremáster, 717
cuadrado
femoral, 304
lumbar, 274, 275
plantar, 314, 318
cuádriceps femoral, 255-256, 307
dartos, 717
denominación. *Véase* Denominación de los músculos
deltoides, 179, 252, 288, 290
depresor
del ángulo de la boca, 266
de la ceja, 266
del labio inferior, 266
detrusor, 706
diafragma, 18, 170, 276, 278, 279, 647
digástrico, 271, 272
dilatador de la pupila, 496
dorsal(es)
ancho, 254, 288
interóseo, 297, 299, 311, 318
largo
de la cabeza, 274, 275
cervical, 274, 275
torácico, 274, 275
del tronco, 773
elevador(es)
del ano, 281
del ángulo de la boca, 266
de la escápula, 286, 287
del labio inferior, 266
de la laringe, 270
del párpado superior, 266, 492
del velo del paladar, 270
elevador/depresor del ángulo de la boca, 266
erector
de la columna, 274, 275, 773
del pelo, 98
escalenos, 276
esfenomandibular, 269
del esfínter pupilar, 496
espinales, 274, 275, 364
esplenio
de la cabeza, 273, 275
del cuello, 273, 275
estapedio, 482
esternocleidomastoideo, 271, 272
esternohioideo, 272
esternotiroideo, 272
estilofaríngeo, 270
estilogloso, 269
estilohioideo, 271, 272
estriado. *Véanse también* Musculatura de la cabeza y del tronco; Musculatura de las extremidades
acciones, 253-254
anatomía macroscópica, 238-239
contracción
aspectos generales, 247-248
control neural, 246
teoría del deslizamiento de los filamentos, 245-246
dolor, retardado, 251
envejecimiento, 256
fibras
anatomía microscópica, 76, 240-244
organización, 75, 76, 251-252
tipos, 249-250
funciones, 238
involuntario, 75
nervios y vasos sanguíneos, 239, 240
nombres, 254
orígenes e inserciones, 253
palancas, 254-255
poleas, 255-256
propiedades, 238
tejido conjuntivo, 238-239
tipos, 251-252
unidades motoras y control muscular, 248-249
vascularización sanguínea, 239
voluntario, 75
extensor
corto
de los dedos, 314, 318
del pulgar, 299
cubital del carpo, 293, 294
de los dedos, 252, 299
del índice, 299
largo de los dedos, 308
gordo, dedo, 308
del pulgar, 299
del meñique, 299
radial del carpo, 254, 293, 294
extraoculares, 266-267
extrínsecos del ojo. *Véase* Músculos extraoculares
con fibras
convergentes, 251
paralelas, 251
flexor
corto
dedo(s), 314, 318
gordo, 311, 318
meñique, 314, 318
del pulgar, 299
cubital del carpo, 293, 294
largo de los dedos, 308
gordo, dedo, 308
del pulgar, 299
profundo de los dedos, 299
radial del carpo, 293, 294
superficial de los dedos, 299
gastrocnemio, 308, 309
gemelos, 304
geniogloso, 254, 269
geniohioideos, 271, 272
glúteo, 186, 302, 304
mayor, 193, 302, 304, 305
medio, 302, 304, 305
menor, 302, 304
grácil, 303, 304
hipertrofia, 249
hipoaxial, 773
hipogloso, 269
ilíaco, 303, 304
iliocostal, 274, 275
iliopsoas, 303
infraespinoso, 179, 290
intercostal, 170, 276, 647
interespinosos, 274, 275
interóseo(s)
dorsales
mano, 297, 299
pie, 311, 318
palmar, 297, 299
plantar, 311, 318
pie, 311
intertransversos, 274, 275
intervertebrales, 773
involuntario no estriado, 75
isquiocavernoso, 281
del labio
inferior, 266
superior, 266
largo
de la cabeza, 274, 275
del cuello, 274, 275
laríngeo, 636
liso
aparato digestivo, 657-658
funciones, 238
histología, 75, 76
lumbrical, 296, 299, 314, 318
masetero, 268
mentoniano, 266
milohioideo, 151, 271, 272, 662
multífido, 274, 275
multipenniforme, 252
nasal, 266
oblicuo(s), 276-277, 279, 773
abdominal, 276-277, 279
cervical, 276-277
desarrollo, 773
extraocular, 266-267
inferior, 266-267
superior, 266-267
torácico, 276-277
obturadores, 303, 304
occipitofrontal, 264, 266
oculomotores. *Véase* Músculos extraoculares
omohioideo, 271, 272
oponente
del meñique, 299
del pulgar, 297, 299
orbicular
de la boca, 252, 264, 266
de los labios, 252, 264, 266
del ojo, 492
palatinos, 270
palatofaríngeo, 270, 662
palatogloso, 269
palmar
corto, 299
largo, 293, 294
papilares, 554
pectinados, 554
pectíneo, 303, 304
pectoral
mayor, 288, 290
menor, 287, 288
penniforme, 252
perineales transversos, 281
peroneo, 311
corto/largo, 308, 311
piriforme, 302, 304
plantar, 308
poplíteo, 196, 308, 309
procero, 266
pronador cuadrado/redondo, 293, 294
psoas mayor, 303, 304
pterigoideo, 268
lateral/medial, 268
pubococcígeo, 281
recto(s)
abdominal, 170, 276, 277, 279
cervical, 276
desarrollo, 773
extraocular, 266-267
femoral, 252, 307, 308
inferior, 266-267
lateral, 266-267
medial, 266-267
superior, 266-267
torácico, 276
redondo
mayor, 254, 288, 290
menor, 179, 288, 290
respiratorios accesorios, 648
retináculo extensor, 295, 311
risorio, 254, 266
romboides, 286, 287
rotadores, 274, 275
laterales, 302
salpingofaríngeo, 270
sartorio, 254, 308, 309
semimembranoso, 308, 309
semiespinosos, 274, 275
semitendinoso, 308, 309
serrato
anterior, 287, 288
posterior, 276
sóleo, 196, 308, 309
subclavio, 287, 288
subescapular, 288, 290
supinador, 293, 294
supraespinoso, 179, 288, 290
temporal, 142, 268
temporoparietal, 264, 266
tensor
de la fascia lata, 302, 304
del tímpano, 482
del velo del paladar, 270
tibial
anterior, 308, 311
posterior, 308
timpánico, 481
tirohioideo, 272
transversos, 276, 773
del perineo, 281
del tórax, 276
transversoespinosos, 275
trapecio, 179, 286, 287
tríceps braquial, 179, 290, 293
unipenniforme, 252
vasto
intermedio, 307, 308
lateral, 305, 307, 308
medial, 307
voluntarios, 239. *Véase también* Músculo estriado
Muslo. *Véase* Miembro inferior
Mutación espontánea, 750
Mutágeno, 48
Mys, 238

N

Nariz, 266, 632, 633
Nasofaringe, 634
Nebulina, 244
Nefrolitiasis, 707, 711
Nefrona(s)
asa, 703
complejo yuxtaglomerular, 703
corticales, 698, 701
estructura y función, 696, 698-699, 700
glomérulo renal, 699-700
histología, 701
sistema colector, 703
túbulo contorneado
distal, 698, 703
proximal, 703
yuxtamedulares, 698, 701
Nefrótomo, 791
Neohematocitos, 543
Neonato
cambios
cardiovasculares, 599-603, 763
respiratorios, 649, 763
evaluación, 763
transiciones, 763

Neoplasia, 47, 48
  primaria, 78
Nervio(s), 342
  accesorio (N XI), 272, 416, 425-426
  acetabular, 223
  acústico. *Véase* Nervio vestibulococlear (nervio acústico; N VIII)
  asa cervical, 372
  auditivo. *Véase* Nervio vestibulococlear (nervio acústico; N VIII)
  auricular mayor, 372
  axilar, 373, 376
  cerebeloso, 414
  cervical transverso, 372
  ciático, 376, 377
  coclear, 423
  craneales. *Véase* Pares craneales
  cubital, 179, 373, 376, 377
    en su trayecto por detrás de la epitróclea del húmero, 179
  cutáneo
    antebraquial, 376
    braquial, 376
    femoral, 377
      lateral, 376
  dental, 664
  dentarios, 664
  espinales. *Véase* Nervios raquídeos
  escapular, 376
    dorsal, 376
  esplácnicos, mayor/menor/lumbar, 456
  facial (N VII), 146, 264, 272, 416, 422-423, 479
  femoral, 376
  frénico, 372
  genitofemoral, 376, 377, 715
  glosofaríngeo (N IX), 270, 416, 424, 479
  glúteo, 377
  hipogloso (N XII), 142, 269, 272, 416, 426
  iliohipogástrico, 377
  ilioinguinal, 377, 715
  interóseo, 376
  mediano, 296, 297, 373, 376
  mixtos, 362
  motor ocular
    común (N III), 266, 267, 416, 420
    externo (N VI), 266, 267, 416, 422
  musculocutáneo, 373, 376
  obturador, 377
  occipital, 372
  olfativo (N I), 147, 416, 418, 477
  óptico (N II), 147, 416, 419, 500-501
  pectoral, 376
  pélvico, 462
  periféricos, 346, 369-371
  peroneo, 376, 377
  petroso, 423
  pudendo, 376, 377
  radial, 179, 373, 376, 377
  raquídeos
    anatomía macroscópica, 362, 365, 369
    distribución periférica, 369-371
    plexos nerviosos, 370-379
  renal, 696
  safeno, 377
  subescapular, 376
  supraclavicular, 372
  supraescapular, 376
  tibial, 376, 377
  torácico, 376
  toracodorsal, 376
  trigémino (N V), 268, 272, 416, 421-422
  troclear (N IV), 266, 267, 416, 420
  vago (N X), 270, 416, 424-425, 479
    ganglio inferior, 425
  vestibular, 423
  vestibulococlear (nervio acústico; N VIII), 416, 423, 485, 490, 502-503
Neumocitos
  tipo I, 646
  tipo II, 646
Neumonía, 652
Neumotórax, 170, 171, 652
Neuralgia del trigémino (tic doloroso), 422, 427
Neurilema, 346
Neuroepitelio, 53
Neurofibrillas, 349
Neurofilamentos, 36, 349
Neuroglia (células gliales)
  aspectos generales, 77, 342, 344
  sistema nervioso
    central, 344-346
    periférico, 345, 346-348
Neurohipófisis, 510. *Véase también* Hipófisis
Neurolemocitos. *Véase* Schwann, células
Neuroma, 78
Neurona(s)
  anaxónicas, 350
  bancos, 355
  bipolares, 350
  clasificación
    estructural, 350-351
    funcional, 351-352
  comunicación sináptica, 354-355
  estructura, 77, 344, 349-350
  funciones, 77, 342
  ganglionares, 437, 452
  generación de impulsos nerviosos, 353
  motoras, 246, 342, 351
    viscerales, 351
  multipolar, 350, 351
  organización y procesamiento, 355-356
  preganglionares, 437, 452
  de primer orden, 432, 433
  regeneración, 352-353
  de segundo orden, 432, 433
  sensitivas, 342, 351
    somáticas, 351
    viscerales, 351
  seudounipolar, 350, 351
  de tercer orden, 432, 433
  vías sensoriales, 432
Neuropatía(s)
  diabética, 465, 467
  periféricas, 377
Neurotransmisores
  activación
    parasimpática, 462
    simpática, 458-459
  definición, 246
  funciones, 246
Neurotúbulos, 349
Neurulación, 774
Neutrófilos, 63, 68, 534, 539
Nicotina, transdérmica, 93
Nissl, cuerpos. *Véase* Sustancia cromatófila (cuerpos de Nissl)
Nistagmo, 485, 502, 503
Nitrógeno ureico sanguíneo (BUN), 710
Nitroglicerina
  angina, 561
  transdérmica, 93
Niveles de organización, 4-6
  celular, 4, 5
  molecular, 4, 5
  de los órganos, 4, 5
  químico, 4, 5
  tisular, 4, 5
Nocirreceptores, 472-473
Nódulo(s)
  auriculoventricular (AV), 558, 562-563
  linfáticos (placas de Peyer), 617, 677
  sinoauricular (SA), 558, 562
Noradrenalina, 458, 523
Normocítico, 544
Normocrómico, 544
Normovolémico, 533, 544
Notas clínicas
  acalasia, 666
  acné, 102
  administración transdérmica de medicamentos, 93
  alteraciones de la frecuencia cardíaca, 564
  Alzheimer, enfermedad, 447
  anatomía
    patológica, 4
    seccional y tecnología clínica, 21-23
  anemia, 535
  anencefalia, 441
  anestesia caudal, 366
  arritmias cardíacas, 564
  arterioesclerosis, 574
  asma, 643
  Bell, parálisis, 423
  bronquitis, 643
  cáncer
    de mama, 739
    ovárico, 727
    pulmonar, 646
    testicular, 722
    uterino, 733
  cardiopatías congénitas, 602
  cartílago, 69
  cataratas, 500
  centros integradores, lesión, 444
  cifosis, 161
  cinetosis, 487
  clasificación de las fracturas, 129
  conjuntivitis, 496
  coronariopatía, 560-561
  dermatitis seborreica, 102
  diabetes insípida, 512
  diagnóstico, 4, 6
  disfunción cerebelosa, 414
  división celular y cáncer, 47
  dolor agudo y crónico, 473
  dopaje con sangre, 544
  enfermedad(es), 4, 6
    cerebrovasculares, 448
    desmielinizantes, 352
    de Parkinson, 410
    pulmonar obstructiva crónica, 643
    por reflujo gastroesofágico, 666
  enfisema, 643
  errores del desarrollo, 750
  esclerosis
    lateral amiotrófica, 440
    múltiple, 380
  escoliosis, 161
  esofagitis, 666
  espina bífida, 167
  estudios de imagen, 21-23
  evaluación del recién nacido, 763
  expansores de plasma, 533
  fibromialgia, 240
  fibrosis quística, 632
  formación y crecimiento de los tumores, 78
  fracturas
    costales, 170
    escafoideas, 184
  gastritis, 673
  glaucoma, 499
  hemofilia, 541
  hemorragia
    epidural, 394
    subdural, 394
  hernias, 279
  hidrocefalia, 397
  hipersensibilidad y función simpática, 456
  hipoacusia, 490
  infarto de miocardio, 565-566
  infección(es)
    del ganglio linfático, 617
    e inflamación cardíacas, 554
    de las vías urinarias, 708
  insuficiencia renal, 704
  inyecciones intramusculares, 305
  jaula torácica y procedimientos quirúrgicos, 170
  lesión(es)
    cerebral traumática, 391
    deportivas, 292
    del hombro, 219
    de las rodillas, 69, 228
  linfadenopatía y cáncer metastásico, 622
  linfomas, 622
  liposucción, 66
  lordosis, 161
  luxación de articulación sinovial, 208
  marcapasos artificiales, 564-565
  mastoiditis, 482
  Ménière, enfermedad, 487
  mielografía, 366
  molestias musculares de aparición retardada, 251
  músculo esfenomandibular, 269
  neuropatías periféricas, 377
  nistagmo, 485
  niveles
    de conciencia, 446
    de hemoglobina, 536
  nuevos avances en anatomía, 269
  obstrucción traqueal, 637
  osificación heterotópica, 118
  otitis media, 482
  parálisis cerebral, 438
  parotiditis, 664
  parto
    con fórceps, 763
    de nalgas, 763
  piel
    cánceres, 96
    examen, 89
    lesiones, 104-105
  policitemia, 535
  problemas
    con el almacenamiento y la secreción de bilis, 685
    en el crecimiento del cráneo, 155
    del disco intervertebral, 216
    de las membranas serosas, 73
    sinusales, 154
    del sistema urinario, 707
    del tobillo y el pie, 201
  prolapso de la válvula mitral, 558
  punción lumbar, 366
  raquianestesia, 366
  raquitismo, 117
  reflejo craneal, 427
  rigidez cadavérica, 248
  sangre sintética, 543

Notas clínicas *(cont.)*
síndrome
compartimental, 319
de desconexión, 445
de dificultad respiratoria, 647
de fatiga crónica, 240
del tunel carpiano, 297
teratógenos, 751
tic doloroso, 422
transfusiones, 531
trasplantes corneales, 498
trastornos
congénitos del esqueleto, 123
endocrinos, 522-523
de la médula espinal y de los nervios raquídeos, 380
neurológicos, síntomas, 343
de la producción de queratina, 92
traumatismo espinal, 380
triquinosis, 257
úlceras pépticas, 673
vértigo, 487
Visible Human Project, 18
Notocorda, 768, 774
Nuca, líneas, occipital, inferior/superior, 142, 156
Nucleasas, 686
Núcleo(s)
anterior, tálamo, 404, 406
basal(es), 445
anatomía macroscópica, 401, 402
control motor, 440, 441
funciones, 402-403
caudado, 401
célula, 30, 38-40, 342, 357
cerebelosos, 412
cocleares, 423, 490
cuneiforme, 414, 415
geniculados, lateral/medial, 405, 406
grácil, 414, 415
laterales, tálamo, 406
lenticular, 401
mediales, tálamo, 406
motores, 367
olivares, 414, 415
paraventricular, hipotálamo, 406, 407, 510
posteriores, tálamo, 406
pulposo, 214
rojo, mesencéfalo, 410, 439
sensitivos, 367
solitario, 479
supraóptico, hipotálamo, 406, 407, 510
supraquiasmático, hipotálamo, 406, 407, 500
ventrales, tálamo, 406
vestibulares, 423
Nucléolo, 29, 40
Nucleoplasma, 29, 40
Nucleosoma, 40
9 + 0, disposición, 36
9 + 2, disposición, 37

O

«Oblicuo», denominación de los músculos, 254
Obstrucción urinaria, 707, 711
Oddi, esfínter (esfínter hepatopancreático), 683
Oído. *Véase también* Audición
desarrollo, 758, 780
externo, 480
interno, 482-486
medio, 480-482. *Véase también* Cavidad timpánica
Ojo. *Véase también* Visión
anatomía seccional, 494-495
cámaras, 493, 498-499
capa
fibrosa, 493-495
neural (retina), 496-498
vascular, 495-498
desarrollo, 758, 779
estructura(s), 493
accesorias, 491-493
músculos, 266
Olécranon, cúbito, 179
Olfato, 477-478, 779
Oligodendrocitos, 345
Olivas, bulbo raquídeo, 414
Oncogén, 48
Oncólogos, 78, 84
Onda peristáltica, 659
Oposición (movimiento), 211, 212
Ora serrata, 496
Órbitas, 151
Orejuela
aurícula, 554
oreja, 480
Organización, niveles. *Véase* Niveles de organización
Órgano(s), 2
espiral. *Véase* Corti, órgano
linfáticos, 617-625
olfativos, 477
de los sentidos, 471, 758. *Véanse también los sentidos específicos*
y sistemas. *Véanse también los sistemas y aparatos específicos*
aspectos generales, 6-13
desarrollo, 82-83
Organogenia, 755
Orgánulos, 36
membranosos
aparato de Golgi, 41-42
aspectos generales, 30
flujo de membrana, 43
lisosomas, 42, 43
mitocondria, 38, 39
núcleo, 38-40
perixomas, 42-43
retículo endoplásmico, 40-41
no membranosos
aspectos generales, 30
centríolos, cilios y flagelos, 36-37
citoesqueleto, 35, 36
ribosomas, 38
Orificio(s), 238
anal. *Véase* Ano
externo, útero, 733
interno, útero, 733
nasales, interno/externo, 150, 632
pilórico, 668
uretral externo, 706
Origen, músculo estriado, 253
Orina, 694
Orofaringe, 634
Orquiectomía, 743
Orzuelo, 491
Osificación, 117
endocondral, 118-122
heterotópica, 117, 118
intramembranosa, 117-119
Ósmosis, 32, 34
Osteítis deformante (enfermedad de Paget), 126, 130
Osteoblastos, 81, 112, 113
Osteocitos, 71, 112, 113
Osteoclastos, 113
Osteogenia, 112
imperfecta, 123, 130
Osteoide, 112
Osteólisis, 113
Osteoma, 78
Osteomalacia, 123, 130
Osteomielitis, 126, 130
Osteona, 113
Osteopenia, 125, 130
Osteopetrosis, 123, 130
Osteoporosis, 77, 126, 130
Osteosarcoma, 78
Otitis media, 482
aguda, 482
serosa, 482
Otoconia, 485
Otolitos, 485
Ovario(s)
anatomía macroscópica, 727
cáncer, 727
ciclo ovárico y ovogenia, 727-732
folículos, 521, 727, 727-731
funciones endocrinas, 508, 521
hilio, 727
Ovillos de degeneración neurofibrilar, 447-448
Ovocito, 727, 748-749
nido, 727
secundario, 731
Ovogenia, 727, 730-732
Ovogonia, 727
Ovoplasma, 748
Ovulación, 730, 731, 748-749
Óvulo, 715
Oxígeno, hemoglobina, 536
Oxitocina (OT), 406, 510, 511

P

P, onda, 566
Pacini, corpúsculos (corpúsculos laminares), 97, 475
Paget, enfermedad (osteítis deformante), 126, 130
Paladar
blando, 632, 662
duro, 148, 632, 662
hendidura mayor, 150
Palancas, 254
de primera clase, 254-255
de segunda clase, 255
de tercera clase, 255
«Palatino», marco dental de referencia, 666
Palatosquisis, 767
Pancoast, tumor, 650-651
Páncreas
anatomía macroscópica, 518-519, 684-685
endocrino, 520
enzimas producidas, 686
exocrino, 646-686
funciones endocrinas, 520
histología, 519, 685-686
hormonas producidas, 508
regulación, 686
Pancreatitis, 689
Papila(s)
circunvaladas, 478
dérmicas, 93, 94, 765
duodenal, 677, 685
filiformes, 478
fungiformes, 478
gustativas, 478
ileal, 677
lengua, 478, 663
óptica, excavación, 498
pilosa, 98
renales, 696
Pápula, 108
Parada cardíaca, 564
Parálisis
agitante (enfermedad de Parkinson), 410, 427, 440
braquial, 377
cerebral, 438, 448
crural, 377
peroneal, 377
por presión, 343
Paraplejía, 367, 380, 383
Parénquima, 64, 640
Par(es) craneal(es)
accesorio (N XI), 272, 416, 425-426
agujeros/fisuras del cráneo atravesadas, 155, 416
facial (N VII), 264, 272, 416, 422-423, 479
glosofaríngeo (N IX), 270, 416, 424, 479
hipogloso (N XII), 142, 269, 272, 416, 426
motor ocular
común (N III), 266, 267, 416, 420
externo (N VI), 266, 267, 416, 422
olfativo (N I), 147, 416, 418, 477
óptico (N II), 147, 416, 419, 499-501
orígenes, 417
trigémino (N V), 268, 272, 416, 421-422
troclear (N IV), 266, 267, 416, 420
vago (N X), 270, 416, 424-425, 479
vestibulococlear (acústico; N VIII), 416, 423, 485, 490, 502-503
Parestesias, 343, 377
Parkinson, enfermedad (parálisis agitante), 410, 427, 440
Parótidas, 663-664
Parotiditis, 664, 689
Párpados, 491-492
Parto, 760-762
cesárea, 762
fase
de dilatación, 760, 762
de expulsión, 760, 762
fórceps, 763
inmaduro, 762
de nalgas, 763, 796
prematuro, 762-763
Pecho. *Véase* Tórax
Pedículo(s)
embrionario, 755, 790
vértebras, 161
Pedúnculos
cerebelosos, 414
cerebrales, 410, 411
Pelo(s)
color, 100
crecimiento y sustitución, 100
estructura, 98. *Véase también* Folículo piloso
funciones, 98
intermedios, 98
en maza, 100
de la nariz, 632
producción, 98
tipos, 98, 100
terminales, 98
Pelvis
anatomía
seccional, 706
superficial, 334
arterias, 590
diferencias sexuales, 193, 201

drenaje linfático, 621
falsa, 186
huesos, 186, 190-193, 225
mayor, 186
menor, 186
músculos, 279-281, 302-306
nervios, 376-379
renal, 696
venas, 599
verdadera, 186
Pene, 725-726
Pepsina, 673
Pepsinógeno, 673
Peptidasas, 686
Péptido natriurético
auricular (PNA), 518, 561
cerebral (PNC), 518
Percepción, 471
Perfil lipídico, 524
Perforado, 512
Pericardio, 19, 72, 548
fibroso, 548
parietal, 19, 548
visceral, 19, 548, 550
Pericarditis, 73, 84
constrictiva, 554
Pericarion, 344, 349
Pericondrio, 69
Perilinfa, 483
Perimetrio, 734
Perimisio, 238
Perineo, 193, 279-281
Perineuro, 369
Período neonatal, 763
Periodontopatía, 689
Periostio, 72, 115
Peristaltismo, 659
Peritoneo, 19, 72, 660-661
parietal, 19, 660
visceral (serosa), 19-20, 657, 660
Peritonitis, 73, 84, 689
Permeabilidad de membrana
procesos
activos
endocitosis, 33
mediada por receptor, 33-34
fagocitosis, 33
pinocitosis, 33
transporte activo, 32-33
pasivos
difusión, 32, 34
facilitada, 32, 34
ósmosis, 32, 34
tipos, 32
Peroné, 196-198, 225
Peroxisomas, 29, 30, 42-43
Pestañas, 491
Petequia(s), 710
Peyer, placas (nódulos linfáticos), 617, 677
Pezón, 739
Piamadre, 365, 391
Pie
anatomía superficial, 335
arcos, 199-200
articulaciones, 229, 230
«caído», 377
equinovaro congénito, 201, 202
huesos, 199-200
nota clínica, 201
zambo, 201
Piel (membrana cutánea), 73, 74, 89. *Véase también* Sistema tegumentario
cáncer, 96
caso clínico (alergia al látex), 106-108
dermis. *Véase* Dermis
desarrollo, 758, 764
envejecimiento, 106
epidermis. *Véase* Epidermis
estructura y función, 90
evaluación, 89
fina, 93
glándulas, 100-103
lesiones, 89
gruesa, 93
inervación, 97
receptores táctiles, 473-475
vascularización sanguínea, 90, 95, 97
Pielitis, 708
Pielograma, 705, 711
Pielonefritis, 708
Pierna. *Véase* Miembro inferior
Pies. *Véase* Miembro inferior
planos, 200, 201, 202
Pigmento, epidérmico, 94
Píloro, 668
Pinealocitos, 521
Pinocitosis, 33
Pinosomas, 33
Pirámides, 437
renales, 696
Placa
amiloide, 447
ateroesclerótica, 544, 574
coronaria, 560
cribiforme, etmoides, 147
dental, 689
dorsal, 775
dorsolateral, 775
epifisaria (cartílago de crecimiento), 119, 121
horizontal, hueso palatino, 150
lateral, 772
motora, 239
neural, 774
tarsal, 492
ventral, 775
ventrolateral, 775
Placenta, 740, 750, 754, 756
desprendimiento prematuro, 796
previa, 796
total, 796
Placentación, 750, 755
Placoda(s)
del cristalino, 779
nasales, 779
óptica, 780
Plan corporal, vertebrados, 3
Plano(s)
anatómicos, 17-18
coronal, 17
frontal, 17
sagital, 17
seccionales, 17
transverso, 17
Plaquetas, 68, 532, 534, 540-541
Plasma, 68, 531, 532, 533
expansores, 533
Plasmina en el líquido seminal, 725
Plasticidad, 658
Platisma, 264, 266
Pleura, 18, 72, 646
parietal, 18, 646
visceral, 18, 646
Pleuresía, 73, 84, 646
Pleuritis, 73, 84
Plexo(s)
autonómico, 456, 463
braquial, 371, 373-376
cardíaco, 464
celíaco, 464
cervical, 272, 371, 372, 375
coroideo, 394, 395, 778
cutáneo, 90, 97
esofágico, 464
faríngeo, 269, 270
hipogástrico, 456, 464, 705
lumbar, 371, 376-379
lumbosacro principal, sacro, 376
mesentérico inferior, 464
mientérico (de Auerbach), 657
nerviosos, 370-379
pampiniforme, vena testicular, 715
papilar, 97
pulmonar, 464
de la raíz del pelo, 97, 98, 475
sacro, 371, 376-379
submucoso (de Meissner), 656
subpapilar, 97
Pliegue(s)
central, 755
circulares, 674
gástricos, 668
neurales, 774
ungueales, 103
uretrales, 793
vagina, 737
vejiga urinaria, 704-705
vestibulares, 636
vocales, 636
Plomo, intoxicación, 352
PNA (péptido natriurético auricular), 518, 561
Podocitos, 699, 702
Polaridad, tejido epitelial, 52, 53
Poleas anatómicas, 255-256
Policitemia, 535, 544
vera, 535
Polígono arterial cerebral (de Willis), 588
Polimerasa del ADN, 46
Poliomielitis, 257
Polipéptido pancreático (PP), 520
Pólipos endometriales, 743
Polispermia, 748
Polo
tubular, glomérulo renal, 703
vascular, 699
Porción
distal, hipófisis, 510, 511
escamosa, hueso temporal, 145, 156
intermedia, hipófisis, 510, 622
petrosa, hueso temporal, 146, 156
timpánica, hueso temporal, 145
tuberal, 512
Poro
gustativo, 479
nuclear, 29, 39
Posición anatómica, 14
Posterior, 16
Potencial transmembrana, 36
Pott, fractura, 129
Predisposición hereditaria, 48
Preeclampsia, 796
Preembrión, 750
Prepucio, 725, 738
clítoris, 738
pene, 725
Presión
arterial, 604
positiva teleespiratoria (PEEP), 647
Primer trimestre
aspectos generales, 758-759
definición, 749
división y formación del blastocisto, 750, 751-752
embriogenia, 755, 757
implantación, 752-755
placentación, 755, 756
Primera neurona motora, 436
Procedimientos radiológicos, 21-23
Procesamiento
paralelo, 355, 356
seriado, 355, 356
Procesos
activos de membrana, 32. *Véase también* Permeabilidad, procesos activos
ciliares, 496
Proclorperacina, 487
Profase, 46
Progestágenos, 513, 732
Progesterona, 513, 521, 732
Prolactina (PRL), 511, 513, 739
Prolapso
uterovaginal, 741-743
de la válvula mitral (PVM), 558, 568
Prolongación, 211, 212
secundaria, 699
Prometacina, 487
Prominencia laríngea, 634. *Véase también* Cartílago tiroides
Promontorio del sacro, 168
Pronación, 184, 211
Pronefros, 791
Prono, 15
Pronúcleo
femenino, 748, 749
masculino, 748, 749
Propiorreceptores, 351, 475
Propranolol, 561
Prosencéfalo, 387, 777
Próstata, 723-725
cáncer, 743
Prostatectomía, 743
Proteína(s)
integrales, 31
de membrana, 31
periféricas, 31
plasmáticas, 533
portadoras, 32
transmembrana, 31
de unión a andrógenos (PAA), 721
Proteinasas, 686
Proteinuria, 710
Protrusión
axonal, 350
escrotal, 794
genital, 793
Protuberancia
anatomía macroscópica, 148, 410, 412
aspectos generales, 388, 389
centros de control respiratorio, 649-650
funciones, 412, 442
occipital, 142
Proximal, 16
Proyecciones pilosas de las células gustativas, 479
Prueba
captación de yodo radiactivo (RAIU), 526
conducción ósea, 503
punción, 502
Psoriasis, 92, 108
PTH (hormona paratiroidea), 124, 515, 523
Pubis, 186, 193
ángulo, 193
cresta, 186
sínfisis, 186, 206
tubérculo, 186

Puentes cruzados, 244
Pulgar, 184
Pulmón, 638-646
  anatomía macroscópica, 638, 639
  árbol bronquial, 640-643
  cáncer, 646, 650-651, 652
  desarrollo, 787
  lóbulos, 638
  superficies, 638, 640
  vascularización sanguínea, 646
Pulpa blanca, bazo, 624
Pulso
  carotídeo bilateral, 604
  disminuido, 604
  venoso yugular, 595
Pulvinar, 405, 406
Punción lumbar, 366, 383
Punto lagrimal, inferior/superior, 493
Pupila, 496
Purkinje, células, 412, 563
Putamen, 401

Q

Queloide, 104, 108
Queratina, 92
  dura, 98
Queratinización, 92
Queratinocitos, 90
Queratohialina, 92
Quiasma óptico, 406, 419
Quimiorreceptores, 475-476
Quimiotaxis, 538
Quimioterapia, 84
Quimo, 668

R

Rabia, 357
Radiación ultravioleta (UV), 94
Radio, 181-184, 222
  escotadura cubital, 181
  tuberosidad, 181, 219
Radiodensidad, 21
Radiografía(s), 21, 23
  con bario, 21
Radiólogos, 21, 23
Rafe, 251
  perineal, 715
Raíz
  diente, 664
  dorsal, 262
  lengua, 663
  pene, 725
  pilosa, 98
  pulmón, 638
  ungueal, 103, 764
  ventral, 262
Rama(s), 128
  auriculares, arteria coronaria derecha, 558
  blanca, 370, 454
  circunfleja, arteria coronaria izquierda, 558
  derecha del haz, 563
  hueso coxal, isquiática, 186
  interventricular, arteria coronaria anterior
    derecha, 558
    izquierda, 558
  isquiática, hueso coxal, 186
  izquierda del haz, 563
  mandíbula, 157
  marginal
    derecha, arteria coronaria derecha, 558
    izquierda, arteria coronaria izquierda, 558
  pubis, inferior/superior, 186
  ventral, 370
Ramo
  dorsal, 370
  gris, 370, 454
Rampa timpánica (conducto timpánico), 486
Ranvier, nódulos (soluciones de continuidad en la vaina de mielina), 345
Raquianestesia, 366
Raquitismo, 117, 123, 130
Rasgo falciforme, 537
Raynaud, enfermedad (fenómeno primario), 456, 467
Reacción
  anafiláctica, 108
  de coagulación, 531
  cruzada, 537
Reanimación cardiopulmonar (RCP), 652
Receptor(es), 341-342, 471-472. *Véanse también los tipos específicos*
  de adaptación
    lenta, 471
    rápida, 471
  de agua, 479
  alfa, 459
  beta, 459
  encapsulados, 475
  especificidad, 471
  fásicos, 471
  gustativos, 478
  muscarínicos, 462
  nicotínicos, 462
  no encapsulados, 473
  olfativos, 477
  sensitivo(s), 471
    somáticos, 341
    visceral, 341
  del tacto, 473-475
    y la presión, 473, 475
      finos, 473, 475
  tónicos, 471
Recién nacido. *Véase* Neonato
Reclutamiento, 249
Recolocación, 211
Reconstrucción seriada, 18
Recto, 679
«Recto», denominación de los músculos, 254
Recuento
  diferencial, leucocitos, 538
  de espermatozoides, 725, 748
Recuerdos, 445
  antiguos, 445
  cercanos, 445
  consolidación, 445
Red
  terminal, 35
  testicular, 718
Redondos, músculo, 254
Reestenosis, 561
Reflejo, 342
  adquirido, 382
  auditivo, 426, 427
  autonómico. *Véase* Reflejo visceral
  cilioespinal, 651
  clasificación, 381, 382
  corneal, 426, 427
  craneal, 382, 426, 427
  cremastérico, 717
  cutaneopupilar, 651
  definición, 376
  de distensión, 382
  endocrino, 509
  espinal, 381, 382
  innato, 382
  integración, 382-383
  luminoso
    cruzado, 426
    directo, 426
  mecanorreceptor, 650
  medular, 382
  mientérico, 660
  miotáctico, 524
  pasos, 380-381
  polisináptico, 381, 382
  postural, 382
  protector, 650
  quimiorreceptor, 650
  respiratorio, 650
  rotuliano, 382, 383
  somático, 382
  tendinoso profundo, 232, 233, 524
  timpánico, 426, 427
  vestibuloocular, 426, 427
  visceral, 382, 464-465, 466
    corto, 465
    largo, 465
Reflujo esofágico, 687
Regeneración de tejido
  epitelial, 52
  neural, 352-353
Región(es)
  abdominopélvicas, 16, 23, 671
  anatómicas, 15-16
  inguinal, drenaje linfático, 621
Relaxina, 741
Remisión, 84
Remodelación, hueso, 124-125
Renina, 518, 703
Replicación del ADN, 45, 46
Reposición IV de líquidos y electrólitos, 323
Reserva venosa, 578
Reservorio de sangre, 578
Resistencia a la tensión, 64
Resonancia magnética (RM), 22, 23
Respiración, 13
  costal, 649
  diafragmática, 649
  forzada, 649
  profunda, 649
  superficial, 649
  tranquila, 648-649
Respuesta, 6
  inmunitaria, 614-615
  plantar (reflejo), 232, 233
Retención urinaria, 708
Retículo
  endoplásmico, 29, 30, 35, 38, 40-41
    liso (REL), 29, 30, 41
    rugoso (RER), 29, 30, 41
  sarcoplásmico, 243, 246
Reticulocitos, 543
Retina (capa neural), 496-498
Retináculo
  extensor, 295, 311
  flexor, 296
Retracción, 211, 212
Reumatismo, 229, 233
Reverberación, 355, 356
Revestimiento embrionario, 82
Ribosomas, 29, 30, 37, 38
  fijos, 29, 38
  libres, 29, 38
Rigidez cadavérica, 248, 257
Riñón
  anatomía
    seccional, 694-696, 697
    superficial, 694
  funciones endocrinas, 508, 518
  histología, 696-703
  lóbulo, 696
  nefronas. *Véase* Nefronas
  nervios, 696
  trasplante, 704
  urograma, 697
  vascularización sanguínea, 696, 698, 699
  vena interlobulillar, 696
Ritmo circadiano, 500, 521
Rivinus, conductos (conductos sublinguales), 664
Rizotomía, 422, 473
RM (resonancia magnética), 22, 23
Roce pleural, 73
Rodete
  acetabular, 223
  glenoideo, 217
Rodilla, articulación
  bloqueo, 225
  cápsula articular, 225
  estructura, 207, 225-227
  funciones, 225
  lesiones, 69, 228
  ligamentos, 225
Rombencéfalo, 387, 777
Rotación, 209, 211
Rótula, 127, 196, 228
Ruffini, corpúsculos, 97, 475

S

S, fase, 45
Sabor. *Véase* Gusto
Saco
  pericárdico, 548
  vitelino, 753, 755, 789
Sacro, 166-168
  astas, 168
  tuberosidad, 168
Sáculo, 483, 485
Salbutamol, 643
Sales biliares, 681
Salpingoovariectomía, 727
  bilateral, 727
Sangre, 531-544
  composición, 531-541
  distribución en el sistema cardiovascular, 578
  elementos celulares, 68, 534-541
  entera, 532, 533
    sustitutos, 543
  fraccionada, 532
  funciones, 531
  hematopoyesis, 541-543
  plasma, 533
  Rh
    negativo, 537
    positivo, 537
  sustitutos, 536, 543
  tipo A, 537
  tipo AB, 537
  tipo B, 537
  tipo O, 537
  transfusiones, 531
  viscosidad, 532
  volumen, 532-533
Santorini, conducto (conducto pancreático accesorio), 685
Sarcolema, 75, 240
Sarcoma cardíaco, 78

Sarcómera, 242, 243, 245
Sarcoplasma, 75, 240
Sarkos, 238
Schlemm, conducto, 498
Schwann, células, 345, 346, 348
Schwanoma vestibular, 502-503
SDRA (síndrome de dificultad respiratoria del adulto), 647
Sebo, 100
Sección
  anterior, 17
  medular, 367
  parasagital, 17
  posterior, 17
  sagital media, 17
  transversal, 17
Secreción
  apocrina, 60, 61
  holocrina, 61
  merocrina, 60, 61
Secretina, 673
Sed, centro, 406
Sedimentación, tasa, 688
Segmentación, 659-660
Segmento(s)
  broncopulmonares, 640
  inicial, axón, 350
  terminal, aorta, 590
Segunda neurona motora, 436
Segundo trimestre, 749, 757, 758-761
Semen, 725
Seno(s), 128
  aórtico, 556
  carotídeo, 586
  cavernoso, 593
  confluencia, 593
  coronario, 558
  de la duramadre, 391
  esfenoidal, 153
  frontales, hueso frontal, 142, 153, 156
  lactífero, 739
  maxilar, 148, 153, 157
  nota clínica, 154
  paranasales, 152, 153
  petrosos, 593
  recto, 593
  renal, 694
  sagitales, superior/inferior, 391, 593
  sigmoideo, 593
  transverso, 391
  urogenital, 790, 792
  venoso escleral (canal de Schlemm), 499
Sensación(es), 432, 471
  gustativas primarias, 479
Sensibilidad táctil cruda y receptores de presión, 473
Sensibilización, 537
Sentidos
  especiales, 471, 779-780. *Véanse también los sentidos específicos*
  generales
    aspectos generales, 471, 472
    mecanorreceptors, 473-475
    nocirreceptores, 472-473
    quimiorreceptores, 475-476
    termorreceptores, 473
Sepsis, 108
Septo (tabique) pelúcido, 389
Serosa (peritoneo visceral), 19-20, 657, 660
Sertoli, células. *Véase* Células sustentaculares, testículos
Sexos, diferencias. *Véase* Diferencias sexuales
Sharpey, fibras (perforantes), 117
Shock medular, 367, 383
SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida), 615, 626
Sífilis, 743
Signos cutáneos, 89
Silicosis, 652
Silla turca, 147, 157
Sinapsis, 350
  adrenérgicas, 458-459
  axoaxonal, 354
  axodendrítica, 354
  axosomática, 354
  colinérgicas, 458
  eléctricas. *Véase* Sinapsis no vesiculares (eléctricas)
  neuromusculares, 239, 246, 247, 354-355
  no vesiculares (eléctricas), 355
  químicas (vesiculares), 354-355. *Véase también* Sinapsis neuromusculares
  vesiculares (químicas), 354-355. *Véase también* Sinapsis neuromusculares
Sinartrosis, 206
Sincitiotrofoblasto, 752
Sincondrosis, 206
Sindesmosis, 206
Síndrome
  cervical postraumático, 164, 171, 231-232
  del colon irritable, 689
  compartimental, 319, 324
  de desconexión, 445, 448
  de dificultad respiratoria (SDR), 647
    del adulto (SDRA), 647
    neonatal, 647
  de fatiga crónica, 240
  fetal alcohólico (SFA), 751, 796
  hemolítico urémico (SHU), 709-710
  de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), 615, 626
  del robo subclavio, 603-605
  del shock tóxico (SST), 743
  del tunel carpiano, 296, 297, 324, 377
Sinérgico, 253-254
Sínfisis, 206
Sinostosis, 206
Síntomas púbicos, 186
Sinusitis, 154, 171
Sinusoides, 575
Sistema. *Véase también* Aparato
  cardiovascular
    aspectos generales, 9, 548
    cambios en el nacimiento, 599-603, 763
    caso clínico (síndrome del robo subclavio), 603-605
    ciclo cardíaco, 561-563
    corazón. *Véase* Corazón
    desarrollo, 759, 784-785
    distribución de la sangre, 578
    envejecimiento, 603
    pericardio, 548-550
    problemas congénitos, 602
    vasos y circulación, 572-605
  colector, riñón, 698, 703
  de conducción, corazón, 562-563
  de defensa respiratorio, 632
  endocrino. *Véanse también las glándulas y hormonas específicas*
    aspectos generales, 9, 508-509
    características de las glándulas, 59
    caso clínico (tiroiditis de Hashimoto), 524-526
    desarrollo, 759, 781-782
    embriología, 80
    envejecimiento, 523
    trastornos, 522-523
  extrapiramidal. *Véanse* Vía lateral; Vía medial
  límbico, 401, 404
  linfático
    aspectos generales, 10, 540, 609
    caso clínico (linfoma torácico), 625-626
    desarrollo, 759, 786
    envejecimiento, 625
    funciones, 609-610
    linfocitos. *Véase* Linfocitos
    órganos linfáticos, 617-625
    tejidos linfáticos, 616-617
    vasos linfáticos, 610-612
  de «lucha o huída». *Véase* División simpática (toracolumbar), sistema nervioso autónomo
  motor visceral. *Véase* Sistema nervioso autónomo (SNA)
  muscular
    aspectos generales, 8, 238
    de la cabeza y del tronco. *Véase* Musculatura de la cabeza y del tronco
    caso clínico (fractura de la cadera), 323-324
    desarrollo, 758, 772-773
    dolor muscular, retardado, 251
    envejecimiento, 256
    estriado. *Véase* Músculo estriado
    de las extremidades. *Véase* Musculatura de las extremidades
    funciones, 75
    terminología, 253-254
    unidades motoras y control muscular, 248-249
  nervioso. *Véanse también* Sistema nervioso central (SNC); Sistema nervioso periférico (SNP)
    aspectos generales, 8, 341-343
    autónomo (SNA), 342
      comparación con el sistema nervioso somático, 452
      control de la frecuencia cardíaca, 556-557
      divisiones, 452, 453. *Véanse también* División parasimpática (craneosacra), activación del sistema nervioso autónomo; División simpática (toracolumbar), sistema nervioso autónomo
      integración y control de las funciones, 464-467
      neuropatía diabética, 465
      niveles de control, 465-467
      patrones de inervación, 452
      plexos periféricos, 463-464
      vías motoras, 436-437
    caso clínico (hipoacusia), 502-503
    central (SNC). *Véanse también* Encéfalo; Médula espinal
      desarrollo, 775-778
      funciones, 341, 343
      neuroglia, 344-346
      organización anatómica, 356-357, 362
      vías motoras, 436-437
    desarrollo, 758, 774
    entérico (SNE), 452, 660
    envejecimiento, 447-448
    organización anatómica, 356-357
    periférico (SNP)
      desarrollo, 776
      divisiones, 341, 342. *Véanse también* Sistema nervioso autónomo (SNA); Sistema nervioso somático (SNS)
      funciones, 341, 343
      organización anatómica, 356-357, 371
    somático (SNS)
      comparación con el sistema nervioso periférico, 452
      funciones, 342
      vías motoras, 436
    tejido neural. *Véase* Tejido neural
    terminología, 342
    vías
      motoras. *Véase* Vías motoras
      sensoriales. *Véase* Vías sensoriales
  óseo. *Véase también* Huesos
    articulaciones. *Véase* Articulaciones
    aspectos generales, 7
    cambios relacionados con la edad, 125-126, 202
    caso clínico (síndrome cervical postraumático), 231-232
    desarrollo, 758
    diferencias sexuales, 201
    división
      cabeza y del tronco. *Véase* Esqueleto de la cabeza y del tronco
      extremidades. *Véase* Esqueleto de las extremidades
    funciones, 112
    trastornos congénitos, 123
    variación individual, 200-201
  piramidal. *Véase* Vía corticoespinal
  porta
    hepático, 599-600
    hipofisario, 512
  reticular activador, 446
  tegumentario
    aspectos generales, 7, 89
    capa subcutánea, 90, 97-98, 764
    caso clínico (alergia al látex), 106-108
    control local de la función, 105
    dermis. *Véase* Dermis
    desarrollo, 758, 764-765
    envejecimiento, 106
    epidermis. *Véase* Epidermis
    estructura(s)
      accesorias, 89, 98-103
      y función, 90
    glándulas, 100-103
    pelo y folículos pilosos, 98-100
    uñas, 103
  urinario
    aspectos generales, 11, 694, 695, 696
    caso clínico (síndrome hemolítico urémico), 709-710
    desarrollo, 759, 791-792
    envejecimiento, 708
    estructuras para el transporte, almacenamiento y eliminación de la orina, 704-708
    estudios de imagen, 705
    funciones, 694
    riñones. *Véase* Riñón
Sístole, 561
  ventricular, 558
Sitio
  activo, 244
  receptor, 32
Skene, glándulas (parauretrales), 738

Soluciones de continuidad en la vaina de mielina, 345
Soma, 77, 342
Somático, 341
Somatostatina, 520
Somatotropina. *Véase* Hormona del crecimiento
Somitas, 768, 774
Somnolencia, 446
Sondas
  coronarias, 560, 561
  torácicas, 170, 171
Sonidos, detección, 490. *Véase también* Audición
Soplo
  cardíaco, 558, 568
  sistólico, 604
«Sopladores»
  «azules», 643
  «rosados», 643
Sordera, 490, 503
  de conducción, 490, 503
  neural, 490, 503
Stensen, conducto (parotídeo), 664
Subconsciente, 342
Subluxación, 208, 233
  de la cabeza del radio, 219
Submucosa
  aparato digestivo, 656-657
  esófago, 668
  tráquea, 637
Sucesión dental, 666
Sudor, 102
Suelo pélvico, 279-281, 773
Suero, 533
Sulfato de condroitina, 69
Sumatoria en la unidad motora múltiple, 249
Superficial(es), 16,
  músculos, 254
Superficie(s)
  auricular, sacro, 168
  basolateral, epitelio, 53
  costal, pulmón, 638
  diafragmática, corazón, 552
  esternocostal, corazón, 552
  mediastínica, pulmón, 638
  oclusales, 666
  poplítea, 193
  rotuliana, 196
Superior, 16
Supinación, 184, 211
Supino, 15
Surco(s)
  apical, 771, 773
  central, cerebro, 396
  cerebral, 387, 396
  coronario, 552
  costal, costilla, 170
  epidérmicos, 93, 94
  genitales, 793
  gingival, 664
  (hendidura) intertubercular, húmero, 179
  lateral, cerebro, 396
  marcas óseas, 128
  mediano, posterior, 362
  parietooccipital, 396
  pulmonar, 787
  urogenital, 791
Surfactante, 646, 647
Sustancia
  blanca
    bulbo raquídeo, 415
    central, 400-401
    cerebelo, 414
    cerebro, 400-401
    definición, 342, 345
    médula espinal, 367-368
    mesencéfalo, 411
    organización, 389
    protuberancia, 412
  cromatófila (cuerpos de Nissl), 349
  fundamental, 61, 64
  gris
    bulbo raquídeo, 415
    características, 342, 345
    cerebelo, 414
    médula espinal, 367-368
    mesencéfalo, 411
    organización, 389
    protuberancia, 412
  negra, 410, 411
Sutura(s), 142, 206
  coronal, 142
  escamosa, 142
  frontal, hueso frontal, 142, 156
  frontonasal, 142, 150
  lambdoidea, 142
  sagital, 142

T

T, onda, 566
T_3 (triyodotironina), 513
T_4 (tetrayodotironina), 513
Tabaquismo
  cáncer pulmonar, 646
  embarazo, efectos fetales, 751
Tabique(s)
  interauricular, 554
  intermusculares, miembro
    inferior, 321
    superior, 318
  interventricular, 554
  nasal
    anatomía macroscópica, 151, 632
    desviado, 154, 171
  pulmón, 640
  testículos, 718
Tabla, huesos planos
  externa, 126
  interna, 126
TAC (tomografía axial computarizada), 22, 23
Tálamo, 387, 405-406, 442
Tallo(s)
  ópticos, 779
  del saco vitelino, 755, 789
Taponamiento cardíaco, 554, 568
Taquicardia, 562, 564, 568
  ventricular (TV), 564
    paroxística (TVP), 564
Tarso, 198-199
  huesos, 198-199, 225
Tatuajes, 105
Tay-Sachs, enfermedad, 448
TC. *Véase* Tomografía computarizada (TC)
Techo, mesencéfalo, 410, 411
Tejido(s)
  adiposo, 65, 66, 508
    blanco/pardo, 66
  aerolar, 64-66
  aspectos generales, 52
  cicatrizal, 104, 105
  colágenos, 66
  conjuntivo, 61-75
    clasificación, 62
    denso, 66-68
    embrionario, 64, 81
    estructura, 62-64
    fascia, 74-75
    funciones, 61-62
    irregular denso, 68
    laxo, 64-66
    líquido, 62, 68
    mucoso, 64
    propio, 62-68
    de sostén, 68-72
      cartílago, 69-71
      definición, 62
      funciones, 68
  definición, 2, 27, 52
  desarrollo, 79-80
  elástico, 68
  envejecimiento, 77
  epitelial, 52-61
    características, 52
    clasificación, 55-58
    desarrollo, 80
    especialización, 53-54
    funciones, 53
    glandular, 58-61
    mantenimiento de la integridad, 54
  eréctil, pene, 725
  de granulación, 104, 108
  linfático, 616-617
    asociado a mucosas (MALT), 616
    difuso, 616
  membranas, 72-74
  muscular
    cardíaco. *Véase* Miocardio
    contractilidad. *Véase* Contracción muscular
    elasticidad, 238
    esquelético. *Véase* Músculo estriado
    excitabilidad, 238
    extensibilidad, 238
    liso. *Véase* Músculo liso
      visceral, 657
    propiedades, 238
    tipos, 251-252
  nervioso. *Véase* Tejido neural
  neural
    comunicación sináptica, 354-355
    histología, 77
    impulso nervioso, 353
    organización celular
      aspectos generales, 342-344
      neuroglia, 77, 344-349
      neuronas, 77, 349-352. *Véase también* Neuronas
    regeneración, 352-353
  nutrición, 77
  óseo. *Véase* Huesos
  reticular, 65, 66
  tipos principales, 52
Telencéfalo, 387, 777
Telodendria. *Véase* Arborización terminal (telodendria)
Telofase, 47
Temblor, 410, 427
  de intención, 414
Temperatura corporal. *Véase* Termorregulación
Tendinitis, 292, 324
Tendón(es)
  articulación
    del hombro, 217
    sinovial, 208
  calcáneo, 199, 311
  estructura, 238
  histología, 64, 66-68
  del hueso poplíteo, 309
Tenias colónicas, 677
Tensión, 64, 117, 245
Tentorio del cerebelo, 391
Teofilina, 643
Teoría celular, 27
Teratógenos, 751, 796
Tercer
  trimestre, 749, 757, 758-761
  ventrículo, cerebro, 389
Terminaciones nerviosas libres, 471
Terminal sináptico, 246, 344, 350
Terminología muscular, 253-254
Termorreceptores, 473
Termorregulación, 97, 102-103
Testículos, 715-721
  arteria, 590, 715
  barrera hematotesticular, 719
  cáncer, 722
  cordones, 794
  desarrollo, 794
  descenso, 715, 717
  estructura, 718, 719
  funciones endocrinas, 508, 520-521
  histología, 718
  posición, 715
  torsión, 743
  vena, 599, 715
Testosterona
  crecimiento óseo, 124
  funciones, 718
  secreción, 513, 520-521
Tetrayodotironina (T_4), 513
Tibia, 196, 197-198, 225
  tuberosidad tibial, 196
Tic doloroso (neuralgia del trigémino), 422, 427
Timo, 508, 515-516, 622-623
Timosina, 516
Tímpano, 145, 480
Tipos
  básicos de tejidos, 52
  de sangre, 536-538
Tiroglobulina, 513
Tiroxina, 124, 513, 523
Titina, 244
Tobillo
  anatomía superficial, 335
  articulación, 193, 228-229, 230
  flexión/extensión, 211
  huesos, 198-199
  ligamentos, 229
  nota clínica, 201
«Todo o nada», principio, 248
Tomografía
  axial computarizada (TAC), 22, 23
  computarizada (TC)
    helicoidal, 23
    fundamentos, 22, 23
    sistema/aparato
      endocrino, 526
      urinario, 705
Tono muscular, 249
Tonofibrillas, 91
Toracocentesis, 170, 171, 652
Tórax
  anatomía superficial, 330
  arterias, 583-584
Torcedura, sobrecarga, 292, 324
Trabéculas
  aracnoideas, 365
  carnosas, 554
Tracoma, 496
Tracto(s). *Véase también* Fascículos
  ascendentes, 367
  corticobulbares, 437, 438

corticoespinales, anterior/lateral, 437-438
definición, 342, 357
descendentes, 367, 437-439
espinocerebeloso, anterior/posterior, 433, 436
espinotalámico, lateral/anterior, 433, 435
iliotibal, 302
medulares, 369
olfativos, 418
ópticos, 419
reticuloespinales, 438, 439
rubroespinales, 438, 439
tectoespinales, 438, 439
vestibuloespinales, 438, 439, 485
Tractotomía, 473
Transfusión(es), 531, 544
autóloga, 531
Transpiración
insensible, 92
sensible, 102
Transporte
activo, 32-33
axoplásmico, 350
globulinas, 533
de gran volumen, 33
vesículas, 41
Transposición de grandes vasos, 602
Transudado, 72
Transverso, 254
del abdomen, 276, 279
Trapecio, hueso, 184
Tráquea, 637
cartílagos, 637
Traqueal, 637
Traqueostomía, 637, 652
Trasplante
de células progenitoras hematológicas. *Véase* Trasplante de médula ósea
de córnea, 498
de médula ósea, 544, 622
de riñón, 704
Trastornos neurológicos, síntomas, 343
Tratamiento
intraperitoneal, 727
de reposición de líquidos y electrólitos por vía intravenosa (IV), 323
Traumatismo
craneal, 427. *Véase también* Lesión cerebral traumática (LCT)
medular, 380
Treponema pallidum, 743
Tretinoína, 96
Tríada(s), 243
hepáticas (áreas portales), 681
Triángulo
anal, 279-281
cervical, anterior/posterior, 328-329
escapular, 176
urogenital, 279-281
Trichinella spiralis, 257
Tricomoniasis, 743
Trifosfato de adenosina (ATP), 32-33, 38, 246
Triglicéridos, 524
Trígono, 705
Trimestres, 749-755
Triquinosis, 257
Triyodotironina (T_3), 513
Trocánter, 128
fémur, mayor/menor, 193
Tróclea, 128
astrágalo, 198
húmero, 179
Trocoides, 212, 213
Trofoblasto, 79, 752
celular, 752
Trombo, 544, 566, 603, 605
Trombocitopenia, 541
Trombocitosis, 541
Trombosis coronaria, 566, 568
Trompa
auditiva (faringotimpánica), 146, 156, 480, 634
uterina, 729, 732-733
Tronco
arterias, 583, 588
braquiocefálico, 582
celíaco, 590
encefálico, 389, 409. *Véanse también* Bulbo raquídeo; Mesencéfalo; Protuberancia
linfáticos, 612
músculos, 289
pulmonar, 556
tirocervical, 582, 646
vasos linfáticos, 612-613
venas, 595-596
Tropomiosina, 244
Troponina, 244
Tubérculo(s), 128
aductor, 196
articular, hueso temporal, 145, 156
atlas, anterior/posterior, 164
conoideo, clavícula, 176
costilla, 169
cuadrigéminos, 410
escápula, supraglenoideo/infraglenoideo, 179
fémur, aductor, 196
genital, 793, 794
hueso temporal, articular, 145, 156
húmero, 179
mayor/menor, 179
infraglenoideo, escápula, 179
del pubis, 186
de la silla, 147
supraglenoideo, escápula, 179
tibia, medial/lateral, 196
Tuberculosis, 652
Tuberosidad, 128
costal, clavícula, 176
deltoidea, húmero,179
glútea, fémur, 193
hueso coxal, ilíaca/isquiática, 186
ilíaca, hueso coxal, 186
isquiática, hueso coxal, 186
radial, radio, 181, 219
sacra, sacro, 168
tibial, tibia, 196
Tubo neural, 387, 774, 775, 777
Tubulina, 36
Túbulo(s)
colectores, 700, 703
conector, 698
contorneado
distal (TCD), 698, 700
proximal (TCP), 698, 703
recto, testículo, 718
renal, 698
seminíferos, 718, 720
transversales (túbulos T), 240, 246
Túbulos T (túbulos transversales), 240, 246
Tumor(es), 47, 48, 78
benigno, 47, 48
maligno, 47, 48
primario, 78, 84
secundario, 78, 84
uterinos malignos, 733
Túnica
albugínea
ovarios, 727
testículos, 718
vaginal, 715
TX. *Véase* Tiroxina

U

Úlcera(s), 673
por decúbito, 92, 108
duodenal, 673
gástrica, 673
péptica, 673, 689
perforada, 673
Umami, 479
Umbral, 353
Unidad motora, 248
Unión(es)
celulares, 43-44
comunicantes, 44
impermeable, 43-44
intercelular, 43-45
comunicantes, 355
mioneural. *Véase* Sinapsis neuromusculares
neuroefectoras, 354. *Véase también* Sinapsis neuromusculares
oclusiva, 43-44
Uñas
acropaquias, 89
desarrollo, 764
estructura, 103
Uréteres, 694, 704
Uretra, 694, 706-708, 722, 792
esponjosa (uretra peneana), 707
membranosa, 707
peneana (uretra esponjosa), 707
prostática, 707
Uretritis, 708, 711
Urograma, 697
Urticaria, 108
Útero, 727, 729, 733
anatomía
interna, 733-734
macroscópica, 733, 734
anteflexión, 733
cuello, 733
embarazo, 761
histología, 734-735
ligamento suspensorio, 733
pared, 734, 735
tumores malignos, 733
vascularización sanguínea, 734
retroflexión, 733
Utrículo, 483, 485
Úvula, 634, 662

V

Vagina, 727
anatomía macroscópica, 736
funciones, 736
histología, 737-738
Vaginitis, 743
bacteriana (inespecífica), 743
Vaina(s)
radicular, folículo piloso, 98
tendinosas sinoviales, 208, 295
Valvas, 554
Válvula(s)
aórtica, 556
aparato digestivo, 657
auriculoventricular (AV)
derecha (tricúspide), 554
izquierda (mitral), 556, 558
bicúspide. *Véase* Válvula auriculoventricular (AV) izquierda
corazón, 554, 556-558
ileocecal, 677
linfáticas, 611
mitral (válvula auriculoventricular izquierda), 556, 558
pulmonar, 554
tricúspide, 554
venosas, 578
Varicosidad, 459
Vascularización sanguínea
hueso, 123, 124
cerebro, 395, 586-587
dermis, 97
epidermis, 93
esófago, 667
riñón, 696, 698, 699
hígado, 681
pulmones, 646
músculo estriado, 239
piel, 90, 95, 97
estómago, 671
útero, 734
Vasectomía, 743
Vasoconstricción, 572, 575
Vasodilatación, 572, 575
Vasos
epifisarios, 123
de intercambio. *Véase* Capilares
linfáticos, 68, 610-613
profundos, 612
superficiales, 612
terminales, 610-611
metafisarios, 123
periósticos, 123
portales, 512
quilíferos, 611, 676
rectos, 703
sanguíneos. *Véanse también* Arterias; Venas
arterias, comparación con las venas, 573
aspectos generales, 579
circuito
pulmonar, 579
sistémico, 579-600
distribución de la sangre, 578
histología, 572-573
vasculares, 572
Vejiga
automática, 711
de la orina, 694, 704-706, 792
Vello, 98
Vellosidades
coriónicas, 755
evaluación, 796
intestinales, 674
primarias, 752
Vena(s)
abdomen, 599
ácigos, 596
antebraquial, 595
arco venoso
dorsal, 598
palmar, 595
arqueada, 696
axilar, 595
basílica, 595
braquial, 595
braquiocefálica (vena innominada), 593, 596
cabeza y cuello, 593-595

Vena(s) *(cont.)*
de calibre
grande, 577
intermedio, 577
cardíaca, 558
gran, 558
media, 558
menor, 558
cardinal, 784
cava
inferior, 554, 596
superior, 554, 593, 596-597
cefálica, 595
central, hígado, 681
cerebral, 593
magna, 593
cerebro, 593-595
circuito sistémico, 592-600
circunfleja femoral, 599
cística, 599
cólica, 599
comparación con las arterias, 572-573
coriónica, 756
coronaria, 554
cubital, 595
dentaria, 664
derecha, 556
digital, 595, 599
esofágica, 597
esplénica, 599, 624
facial, 593
femoral, 598
frénica, 599
funciones, 68, 548
gástrica, 599, 671
gastroepiploica, 599, 671
glútea, 599
gonadal, 599
hemiácigos, 596
hepática, 599, 681
hígado, 599-600
histología, 572-573
ileocólica, 599
ilíaca, interna/externa/común, 599
inferior, 597
innominada (vena braquiocefálica), 596
intercostal, 596
interlobular, riñón, 696
interlobulillar, riñón, 696
interósea crural, 595
intestinal, 599
lumbar, 599
maxilar, 593
mesentérica, 599, 674, 677
inferior/superior, 599
miembro
inferior, 597-599
superior, 595
nutricia, hueso, 123
obturatriz, 599
ovárica, 599, 727
palmar, superficial/profunda, 595
pancreática, 599
pancreaticoduodenal, 599
pelvis, 599
peronea, 598
plantar, 597
poplítea, 598
porta hepática, 681
posterior, ventrículo izquierdo, 561
pudenda, 599
pulmonar, 556, 579
radial, 595
rectal, 599
renal, 599, 696
retiniana, 498
sacra, lateral/medial, 599
safena mayor/menor, 598
subcardinal, 784
subclavia, 595, 596
suprarrenal, 599
temporal, 593
testicular, 599, 715
tibial, anterior/posterior, 597
tiroidea, 513
torácica, 596
trabecular, 624
tronco, 596-597
umbilical, 600, 755, 784
válvulas venosas, 578
varicosa, 605
vénulas, 97, 577
vertebral, 593
yugular, interna/externa, 142, 593, 593
Venoconstricción, 578
Ventana
oval, 483
redonda, 483
Ventilación alveolar, 647
Ventral, 16
Ventrículo(s)
derecho, 554, 556
izquierdo, 556
vena posterior, 558
lateral, cerebro, 389
cerebro, 389, 390
corazón, 548
Vénulas, 97, 577
Vermis, 412
Vertebrados, 3
Vértebra(s), 161-162
cervicales, 158, 160, 163-164
láminas, 161
lumbares, 158, 160, 163, 164-167
prominente, 164
sacras, 158, 160
torácicas, 158, 160, 163, 164, 166
Vértice
corazón, 552
nariz, 632
pulmón, 638
rótula, 196
sacro, 168
Vértigo, 487, 503
Vesícula(s), 108
biliar, 683-684, 685
cerebrales, 387, 777
ópticas, 779
óticas, 780
recubiertas, 34
secretorias, 42
sinápticas, 246
de transferencia, 42
Vestíbulo
cavidad bucal, 662
genitales femeninos, 736
nasal, 632
oído interno, 483, 486
vena, 738
Vía(s), 342, 357
ascendentes. *Véase* Vías sensitivas
auditivas, 490, 491
de la columna posterior, 432-435
corticoespinal, 398, 437-438
descendentes. *Véase* Vías motoras
espinocerebelosa, 433, 435-436
espinotalámica, 433, 434, 435
gustativas, 479
interganglionares, 562
lateral, 438-439
lemniscal medial. *Véase* Vía de la columna posterior
medial, 438-439
motoras
aspectos generales, 357
control motor somático, 441-442
función
del cerebelo, 440
de los ganglios basales, 440
sistema nervioso
autónomo, 436-437
nervioso central, 436-437
vía corticoespinal, 437-438
olfativas, 477-478
respiratorias, 630
sensitivas
aspectos generales, 357, 432
auditiva, 490, 491
gustativa, 479
olfativa, 477-478
vestibular, 485
vía
espinocerebelosa, 433, 435-436
espinotalámica, 433, 434, 435
posterior de la columna, 432-435
visual, 499-501
urinarias, 694
vestibulares, 485
visuales, 499-500
Vientre, 251. *Véase también* Cuerpos
Vigilancia inmunológica, 614
Visceral, 341
Vísceras, 18
Viscosidad, 532
Visible Human Project, 18
Visión. *Véase también* Ojo
desarrollo, 758, 779
integración cortical, 500
tronco encefálico, 500
vías visuales, 499-501
Vitamina B_{12}, 543
Vitamina D
crecimiento óseo, 124
deficiencia, 117
envejecimiento, 106
radiación ultravioleta, 94
Vocabulario anatómico, 13-20
Volkmann, canales (perforantes), 113
Volumen del concentrado de eritrocitos (VCE), 534
Voluntario, 342
Vómer, 151, 157
Vulva, 738

W

Wharton
conductos (submandibulares), 664
gelatina, 64
Willis, polígono (polígono arterial cerebral), 587, 588
Wirsung, conducto (conducto pancreático), 685

X

Xeroftalmía, 92, 108
Xeromamografía, 740

Y

Yeyuno, 674, 677
Yunque, 482

Z

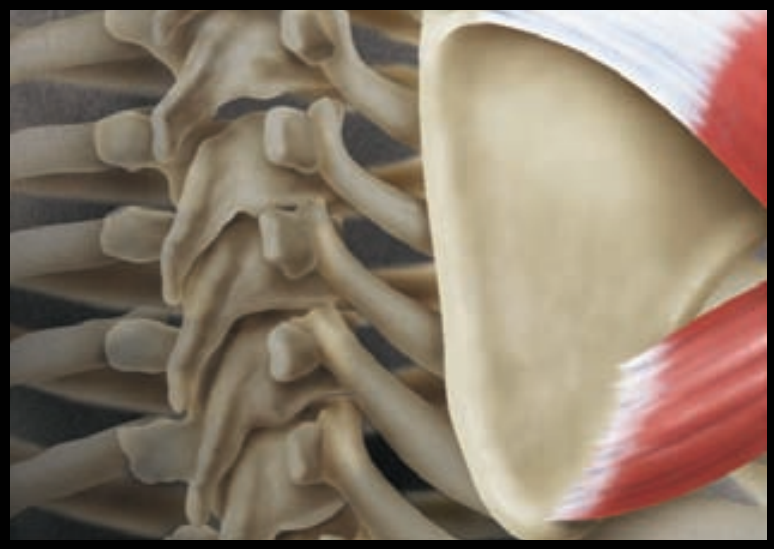
Z, disco, 244
Z, líneas, 243
Zeis, glándulas, 491
Zona
fasciculada, glándula suprarrenal, 517, 518
glomerulosa, glándula suprarrenal, 516-517, 518
pelúcida, 731
reticular, glándula suprarrenal, 517-518
de superposición, 243
Zónula adherente (desmosoma), 45

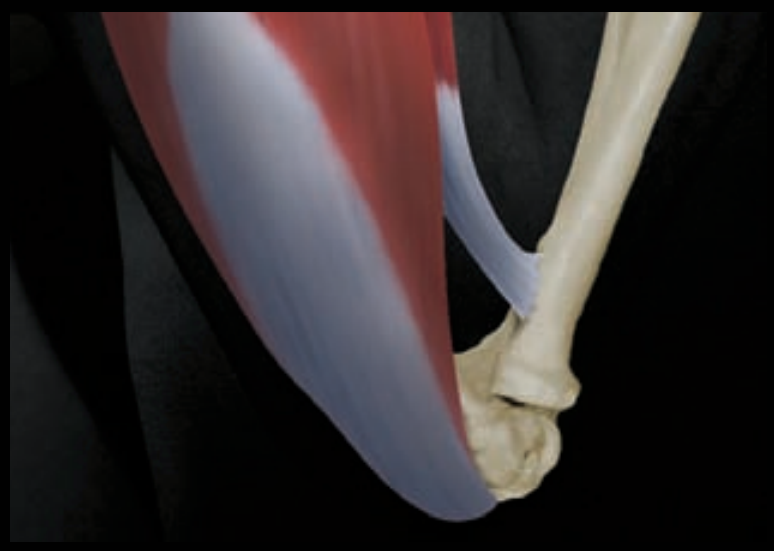
booksmedicos.org

Anatomía humana es el libro de texto más visual que existe en el campo de la anatomía. Para fomentar la comprensión, prestamos una atención especial a los temas más difíciles de la anatomía humana y a ciertas materias identificadas por los estudiantes y los revisores. Todos los contenidos presentados manifiestan una profunda deliberación basada en la experiencia docente acumulada por los autores.

Para potenciar el interés, ampliamos el contenido clínico en todos los capítulos y añadimos nuevos estudios de «Casos clínicos» al final de cada sistema corporal. El formato al estilo de un atlas permite mostrar imágenes dobles, figuras macroscópicas-microscópicas y figuras paso a paso que ayudan al estudiante a comprender mejor las estructuras. Además, se incluyen fotografías de disecciones superficiales y profundas que facilitan el aprendizaje de forma visual.

Por otra parte, aporta una serie de recursos que facilitan el estudio: cuestiones para la comprobación del buen entendimiento de los conceptos, enlaces conceptuales, resúmenes de embriología y un sistema de aprendizaje en tres niveles al final de cada capítulo. *Anatomía humana* se ha convertido en la obra de referencia que siguen todos los demás manuales.





PEARSON Educación
www.pearsoneducacion.com

ISBN 978-84-832-2870-8